

MÉTODOS DE ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA O CRITÉRIO “SEGURANÇA E SAÚDE” COMO FATOR DE ESCOLHA



Manuel Tender
João Pedro Couto

Fevereiro de 2021

Texto © 2020 Editores
Design © Manuel Tender
Autor: Manuel Tender e João Pedro Couto
Editores: Manuel Tender e João Pedro Couto
Apoio a edição: Daniel Bragança
Revisão: Alexandra Valle Fernandes
Créditos da foto de capa: Manuel Tender
ISBN: 978-989-33-0915-5
Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, Portugal
<http://www.civil.uminho.pt/>
@ Universidade do Minho, 2021

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada ou transmitida total ou parcialmente, por nenhuma forma e nenhum meio, seja mecânico, eletrónico, ou qualquer outro, sem autorização prévia escrita dos autores e editores.

Os textos, bem como toda a informação gráfica do seu conteúdo, são da inteira responsabilidade dos respetivos autores.

PREFÁCIOS

Este espaço é dedicado às empresas que apoiaram a Tese de Doutorado e o respetivo Projeto de Investigação “SegOS – Segurança e Saúde em Obras Subterrâneas” que dá origem a este livro.

Cada uma das empresas foi essencial tendo consumado o seu apoio por diversos modos.

De modo a poder valorizar igualmente todas as empresas envolvidas, optou-se por colocar os seus nomes por ordem alfabética.



Com muito interesse e orgulho aceitei em nome da Comissão Portuguesa de Túneis e do Espaço Subterrâneo (CPT) o convite dos autores para escrever um prefácio para a presente edição do Livro Métodos de Escavação Subterrânea – o critério “segurança e saúde” como fator de escolha. Trata-se de um livro necessário, imprescindível para uma análise detalhada e meticulosa do fator segurança e saúde como elemento de peso na escolha do método de escavação das obras subterrâneas. Os autores abraçaram esse desafio e, a partir da formulação das perguntas certas como elemento guia de um programa de investigação, foram bem sucedidos nos resultados obtidos. O confronto sistemático de vantagens e inconvenientes, do ponto de vista da saúde dos trabalhadores, dos métodos mais difundidos de escavação de túneis, método convencional e método mecanizado, revela-se como um elemento de juízo de grande valor na seleção do procedimento de construção de uma obra subterrânea. A CPT tem alentado constantemente este tipo de iniciativa. O grupo de trabalho GT3, de que o Eng^o Manuel Tender é o Animador, foi fundado com o objetivo de trazer à superfície o debate atualizado sobre estas matérias. Este grupo funciona como “mirror group” ou grupo espelho do WG5 da Associação Internacional de Túneis e do Espaço Subterrâneo (ITA). Por meio desse vínculo, foi possível agilizar o contato e a troca de experiências com colegas de outros países, fator que sempre enriquece e impulsiona a participação especializada da comunidade técnica nacional relacionada com as obras subterrâneas. Em Outubro de 2019 a CPT organizou um seminário internacional sobre Health and Safety in Underground Works, realizado no LNEC, que contou com a participação de numerosos colegas e empresas patrocinadoras, demonstrando o interesse que esse assunto suscita na comunidade técnica nacional. O País precisa de obras subterrâneas, particularmente as suas cidades, para poder respirar pela própria superfície. São iminentes um conjunto de importantes investimentos em metropolitanos, obras de drenagem, aproveitamentos hidrelétricos, transportes ferroviários e rodoviários, enterramento de infraestruturas essenciais que ainda ocupam a superfície vital das nossas cidades. Este livro chega na altura certa para contribuir a fazer melhor, com segurança, cuidando a saúde dos trabalhadores e para permitir aos donos de obra uma melhor escolha de alternativas mais vantajosas do ponto de vista técnicoeconómico. Em nome da CPT e no meu pessoal, felicito os autores pela iniciativa e pelo belíssimo trabalho realizado, que a partir de hoje passa a ser património da comunidade que faz possível a concretização das obras subterrâneas.

Raúl Sarra Pistone

Presidente da Comissão Portuguesa de Túneis e do Espaço Subterrâneo (CPT)



Os trabalhos sobre segurança em escavações não são raros, nem raras são as diferentes abordagens usadas nesses trabalhos. A presente dissertação, contudo, tem a virtude de abordar as escavações sob uma perspetiva crucial para os envolvidos. De facto, distingue-se porque, a par da vertente tecnológica, coloca o foco na vertente humana e na prevenção dos riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores.

Fruto de uma análise cuidada, mas também da vasta experiência e do muito trabalho de campo desenvolvido ao longo dos anos em obra, o Engenheiro Manuel Tender, em parceria com o Prof João Couto (seu orientador da Tese que dá origem a este livro), compara os métodos de escavação convencional e por tuneladora, procurando avaliar os perigos e os riscos de cada um para a segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos. Desta avaliação comparativa procura retirar as principais medidas preventivas a aplicar para reduzir os riscos identificados.

Como resultado da análise desenvolvida, os autores definem um conjunto de requisitos básicos a ter em conta aquando da utilização de qualquer dos métodos de escavação. Realçam igualmente outra questão: a grande importância da intervenção do projetista (associado ao dono de obra) logo desde as fases iniciais do projeto, como forma de intervir na redução dos riscos que decorrem do trabalho. Por outro lado, não menos relevante para reduzir o risco para os trabalhadores é a competência e a formação dos diversos agentes envolvidos.

O grande mérito deste trabalho é, pois, colocar o foco na segurança e saúde enquanto critério que, a par das considerações técnicas, deverá contribuir para a escolha do método de escavação. Os autores realçam que é crucial a colocação deste critério num nível mais elevado da lista de prioridades, face a outros do foro produtivo e financeiro, como forma de preservar o bem-estar e a saúde dos trabalhadores. Partindo da análise realizada em diferentes vertentes, este trabalho possibilita, aos vários intervenientes no processo de escolha, uma decisão mais informada quanto ao método de escavação a utilizar, colocando no centro das preocupações a redução do risco e, conseqüentemente, a segurança e saúde de todos intervenientes no processo produtivo.

António Bastos
Chefe do Departamento Técnico



As obras geotécnicas subterrâneas são projetos complexos com interação de diversas áreas de Engenharia, representando, geralmente, investimentos estratégicos financeiramente avultados associados a processos de decisão que combinam uma multiplicidade de variáveis. Neste processo de decisão, é recorrente o debate em torno do método de escavação que usualmente são categorizados, de forma resumida, em duas categorias distintas – o Método de Escavação Convencional (MEC) e o Método de Escavação por Tuneladora (MET).

O foco primordial deste livro, cujo prefácio honrosamente aceitei redigir, consiste em investigar a influência do critério “Segurança e Saúde”, na vertente ocupacional, como fator de escolha no processo de decisão do método de escavação, procurando estabelecer as bases para a criação de um instrumento de trabalho que permita aos intervenientes conhecer as particularidades deste critério nos diferentes métodos MEC e MET.

Ao mesmo tempo, salienta-se que o trabalho desenvolvido preenche uma lacuna bibliográfica e de investigação científica sobre a análise comparativa nos níveis de segurança deste critério – “Segurança e Saúde” – para a escolha dos métodos anteriormente referidos, apesar de ser identificado como um fator relevante por parte da comunidade internacional do setor, o que consequentemente justifica a pertinência da investigação desenvolvida.

Deste modo, a investigação efetuada apresenta uma estrutura robusta com a análise das diferentes problemáticas associadas à questão de investigação e assenta a sua abordagem metodológica em três pilares primordiais. Primeiro, uma investigação pormenorizada do estado da arte, através da revisão bibliográfica devidamente categorizada, por grau de importância e relevância para o tema em questão. Segundo, uma abordagem prática de observação em tempo real da dinâmica de “Segurança e Saúde” em contexto de obra nacional e internacional. Terceiro e última, a contribuição de especialistas mundiais do setor para a orientação do trabalho desenvolvido.

Face ao afirmado, o presente trabalho potenciará a valorização da segurança ocupacional nos planos de gestão de risco das obras subterrâneas, decorrente da hierarquização e valorização dos riscos envolvidos para as duas metodologias de escavação comumente abordadas. De salientar que o estudo estatístico das variáveis devidamente categorizadas, a correta análise de frequências de ocorrência de acidentes de trabalho e sua tipologia, bem como a previsão de doenças profissionais, fornece informação crucial para identificação e valorização do risco, permitindo a apresentação de medidas preventivas, estatisticamente confiáveis. O caráter prático da abordagem metodológica utilizada no presente livro e as medidas preventivas propostas serão benéficas e úteis, tanto para os técnicos mais experientes como para iniciantes no setor.

Manuel Tender é investigador de Pós-Doutoramento, na Universidade do Minho, com um currículo profissional de mais de duas décadas nesta área. Desenvolve um trabalho criterioso e aprofundado no âmbito da Segurança e Saúde em obras subterrâneas, com a contribuição e supervisão do Professor Doutor João Pedro Couto, Professor Assistente na mesma instituição de ensino.

Eng.º Ricardo Braga
Diretor Departamento – tgeotecnia – dstgroup



Sensivelmente no decorrer da 1.ª década deste Século a EDP Produção promoveu um forte investimento na construção de novos aproveitamentos hidroelétricos e de reforços de potência de ativos já existentes. Inovou, também, em matéria de SST e foi além das exigências constantes do diploma Decreto-Lei n.º 273/2003, de 29 de outubro, e que ainda se encontra em vigor. Dando cumprimento ao referido enquadramento legal e na figura de Dono de Obra, promoveu, à data, a melhoria significativa de um novo modelo de PSS para a fase de projeto, integrando este documento tal como a CTO como peças contratuais dos novos Processos de Concurso. Tendo em vista, ainda, fomentar nas obras um desejável Potencial de Melhoria em matéria de SST promoveu uma Pré-Qualificação de CSO, ao nível europeu, tendo a partir daí iniciado em regime de Prestações de Serviço a contratação externa de CSO. Encontra-se a EDP Produção nesta fase e face às novas realidades da empresa, a promover internamente e em modo evolutivo à adaptação da documentação do seu Sistema de Gestão Ambiente e Segurança (SIGAS) e à recertificação faseada das suas várias Unidades Organizativas.

Foi com o maior agrado que vários colaboradores da EDP Produção participaram com as suas respostas aos inquéritos realizados e ainda com a permuta de várias experiências SST (documentação e visitas técnicas), tendo em vista a sua obtenção de um livro de excelência sobre SST. É pois natural que nos congratulemos e consideremos muito útil a publicação deste livro, dado que a descrição de ocorrências e respetivos comentários ficam como testemunho para que os mais novos e as futuras gerações possam tomar conhecimento dos “eternos” desafios da “arte” de tentar e poder promover ativamente SST.

De acordo com o transmitido no livro, OXALÁ consigamos todos e concertadamente promover as melhores práticas tendo em vista contagiar assertivamente a importância da SST junto dos PROJETISTAS mais novos, para o desejado envolvimento dessas matérias em equipas multidisciplinares .

Acalentemos o “novo” sonho porque, como diz o poeta, “o sonho comanda a vida”!

Arnaldo Videira
Gestor de Coordenação de Segurança



O presente livro, Métodos de escavação subterrânea - o critério “segurança e saúde” como fator de escolha, surge como um enorme contributo, de grande utilidade, para todos aqueles que trabalham ou que por algum motivo tenham interesse em obras subterrâneas, nomeadamente para a Comunidade Científica em geral, Associações, Donos de Obra, Projetistas, Empreiteiros, Consultores... etc.

A Segurança e Saúde é vista pelos autores como uma “disciplina” que deverá ser a essência de qualquer projeto de escavação subterrânea, sendo as atividades perigosas um desafio coletivo e individual, que está muito para além de um conjunto de especialidades que se fundem para a realização de um produto.

Chamando a atenção para a importância da valorização do critério “Segurança e Saúde”, os autores conseguem transmitir, com esta obra, uma clara e objetiva orientação estratégica para a implantação, com sucesso, de programas que visam a prevenção de acidentes e que promovem a sustentabilidade dos princípios básicos que devem orientar a escolha dos métodos para a execução de um projeto de obra subterrânea.

Esta obra tem a virtude de conseguir mostrar a comparação entre métodos, infraestruturas, equipamentos, programas, planos e procedimentos sempre em linha com a temática da prevenção e sem perder o foco naquilo que verdadeiramente interessa, ou seja, a segurança e saúde de todas as pessoas que intervêm na atividade de escavação subterrânea.

Fica claro da leitura que a experiência, que se traduz em capacidade de formação das pessoas que permite a realização de um produto de qualidade em segurança, é o fator fundamental nesta atividade.

Ressalta ainda a importância de olhar para o critério “Segurança e Saúde” com conhecimento e respeito pelas pessoas e sociedade em geral, sendo fundamental a incorporação destes domínios como parte integrante, prioritária e de valor acrescentado em todo o processo construtivo.

Carlos Russo
Administrador

O presente livro é um legado da maior importância para os atuais atores da construção de túneis, assim como para as gerações futuras. A cuidada análise e a minuciosa descrição dos diferentes métodos de escavação de túneis, assim como a exaustiva identificação dos riscos associados a cada método de escavação estão devidamente tratados neste livro e são demonstrativos da experiência adquirida “in loco” pelo Engenheiro Manuel Tender ao longo dos anos.

Não menos importante é salientar a sua preocupação no detalhe que fazem deste livro um útil Manual de prevenção e de “transmissão do conhecimento” para quem se interessa por esta temática e quer desenvolver a sua atividade na construção de túneis.

Quando aceitei fazer o prefácio deste livro, aceitei com orgulho, pois partilhei com o Engenheiro Manuel Tender o desafio de “construir com o critério da segurança e saúde” o empreendimento do Túnel do Marão, ficando o mesmo marcado de forma indelével pela não ocorrência de acidentes graves ou mortais. O Túnel do Marão foi uma realização nacional que fica na História, como uma das mais importantes vias rodoviárias executadas no início deste século.

O Engenheiro Manuel Tender teve um papel preponderante, como Coordenador de Segurança na Obra, como dinamizador da implementação da Segurança no ato de construir, promovendo o trabalho de equipa e entre equipas, envolvendo todos os intervenientes, a saber: Dono de Obra, Fiscalização/CSO, Direção de Obra, Gestão da Segurança/ Técnicos de Segurança, Encarregados/chefes de equipa e os trabalhadores. Sabíamos que não iria ser fácil, mas também sabíamos que só remando todos no mesmo sentido é que chegaríamos a “bom porto”, ou seja Zero acidentes Mortais.

João Baptista

Assessor Técnico e de Gestão no empreendimento “Túnel do Marão”



A segurança e a saúde no trabalho, tendo em conta os valores em causa, são condições inquestionáveis e indissociáveis das operações das empresas. Ninguém duvidará disso, nem ninguém, em plena consciência, poderá pôr isso em causa.

Contudo, e tomando por referência a indústria da construção, não sendo os riscos simplesmente anuláveis, encontrar o adequado controlo para cada um, estará na dependência da perceção de cada indivíduo e da sua experiência: uns, mais otimistas, poderão achar que determinados controlos serão adequados para que nenhum mal ocorra, outros, mais “prevencionistas”, poderão entender não estar ainda assegurados os adequados níveis de controlo.

Este facto, conjugado a diversas características próprias desta indústria, das quais se destacam, a sua natureza itinerante, a reduzida inovação, o recurso intensivo a mão-de-obra e a reduzida qualificação da mesma, faz com que os níveis de sinistralidade sejam muito elevados.

A melhoria dos níveis de sinistralidade estará dependente do aumento do conhecimento relativo aos processos e métodos de trabalho, e relativo aos riscos e às adequadas medidas de minimização, pelo que, é com satisfação que vemos o presente trabalho a ser publicado. Temos a esperança de que venha a contribuir para melhores ambientes de trabalho em estaleiros da construção e, assim, para a redução dos níveis de risco e para uma efetiva redução da sinistralidade laboral.

Mário Campos

Responsável Departamento Qualidade, Ambiente e Segurança



A abertura de túneis, de carácter civil, com diferentes finalidades (desde a circulação de veículos a transvases de água), depende um vasto conjunto de operações, com alguma complexidade técnica e em que constantemente se verificam avanços tecnológicos, associados aos equipamentos que asseguram essas operações. De facto, muitas das operações envolvidas não são isentas de riscos, quando consideradas as dimensões dos equipamentos (intimamente ligadas às elevadas produtividades hoje exigíveis), aos ambientes confinados que caracterizam estas obras e às substâncias perigosas com que muitas vezes é necessário lidar, onde se destacam os explosivos.

Assim, no contexto exigente atual, em termos dos aspectos SHE (Safety, Health and Environment) que estão ligados a essas operações, a sistematização do assunto e a procura por um documento que retrate (o melhor possível) o dinâmico Estado da Arte actual, reveste-se assim de extrema importância.

A presente obra permite conhecer, com todo o rigor técnico exigível e o aprofundado detalhe, esse conjunto de operações e as diferentes técnicas que o Mercado oferece para a execução dessas obras. Assim, justifica-se a sua leitura e referência bibliográfica, como base de qualquer estudo neste Domínio, designadamente quando se pretende minucioso e orientado para a fase de projecto, incorporada no projecto de Engenharia.

Beneficiando do aprofundado conhecimento dos seus Autores, este livro congrega todos os conteúdos relevantes para o Tema, no sentido de enfrentar os desafios e os riscos inerentes à atividade em apreço. Acredita-se que a compreensão destes conceitos permitirá melhorar consideravelmente o nível de segurança e a sustentabilidade destas obras, essenciais que são para a Sociedade, com importância crescente no futuro que se adivinha.

Resta-me felicitar o valioso contributo para a Comunidade Técnica e desde já encorajar os Autores a estarem disponíveis para vir a fazer actualizações (novas edições) que permitam acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos, que temos testemunhado e no ritmo a que nos habituaram, permitindo hoje viabilizar tecnicamente qualquer obra deste tipo, independentemente da abordagem económica que ficará sempre dependente da finalidade e do Espaço/País em que ocorre a obra.

Pedro Bernardo
Territory Manager - Orica Mining Services Portugal



O livro que tive o prazer de ler, retracts aspectos e pormenores característicos da argúcia e da singularidade profissional do seu autor.

A obra, extensa e enciclopédica, irá ajudar futuros colegas e reavivar a memória dos mais antigos quanto aos argumentos e riqueza inerentes no seu conteúdo. Reproduz com exactidão a obra que foi fiscalizada pelo Eng. Manuel Tender, imita a sensibilidade de quem a seguiu ao longo da sua execução e, através das figuras e descrições espelhadas no livro, mostra as diversas fases da empreitada oferecendo a noção exacta da realidade encontrada.

A Prospectiva SA, enquanto empresa de Fiscalização e de Coordenação de Segurança, contou com a presença do Eng. Manuel Tender como responsável máximo na vertente de segurança. As exigências foram cumpridas, obteve-se o resultado esperado – Zero acidentes mortais. Foi um prazer contar com a ajuda preciosa do Eng. Manuel Tender.

O resultado, mais do que a descrição e narração de uma única obra, abraça todo o historial de obras similares, contendo informação preciosa, ordenada de forma criteriosa e metodicamente organizada. É pois uma obra para além da obra.

Rui Borges

Diretor de Produção – Zona Norte



A obra Métodos de Escavação Subterrânea – Critérios “Segurança e Saúde” como Fator de Escolha, revela-se uma referência incontornável para a segurança e saúde, na área da construção subterrânea.

Os autores, Manuel Tender e João Pedro Couto, Engenheiros Cívicos, apresentam-nos um trabalho minucioso e devidamente fundamentado sobre a Segurança e Saúde, apoiados pelo Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, da Universidade do Minho, numa investigação realizada ao longo de vários anos.

Este estudo, com cerca de 400 páginas, apresenta, de uma forma fundamentada e cientificamente justificada, a relevância do critério “Segurança e Saúde” na escolha do método de escavação, de modo a minimizar os riscos inerentes e tradicionalmente conhecidos, aqui estudados e testados cientificamente.

Os autores apresentam, em seu entender, um processo completo de análise da influência do critério “Segurança e Saúde” nas suas várias vertentes, trazendo-nos um novo modelo capaz de ultrapassar as dificuldades de competitividade entre os dois métodos de Escavação Convencional (MEC) e de Escavação por Tuneladora (MET) focando o seu estudo na vertente da segurança e da saúde como fator de escolha nos métodos de escavação subterrânea.

A seriedade científica do trabalho que esta obra apresenta, os estudos e os testes efetuados bem como as conclusões e recomendações que os autores apresentam, vem assim preencher a lacuna existente nos trabalhos de escavações em Portugal, tornando-se incontornável como conhecimento normativo para a construção subterrânea no nosso país.

A abordagem das diferentes fases de construção, a análise dos processos/ produtos/ equipamentos/ metodologias de cada uma das fases da escavação, demonstram bem a importância deste trabalho de investigação e sobretudo a sua inovação. Esta centra-se, especificamente, no facto de ainda não existir qualquer estudo específico sobre a vertente que os engenheiros civis, Manuel Tender e João Pedro Couto, trazem a todos aqueles que trabalham nesta área específica da engenharia, a construção subterrânea, na sua vertente mais humanizadora do projeto, a Segurança e a Saúde da toda a envolvente de uma obra desta natureza.

Na realidade, já existem inúmeros estudos e trabalhos apresentados sobre esta área em todo o mundo, mas saliente, de um modo insistente e pertinente o quão importante este trabalho de investigação é, não só para Portugal, mas merecedor de tradução, diria mesmo, que para todos os locais onde a segurança e o conhecimento terão de ser a base de qualquer construção que obedeça à tipologia aqui tratada.

Métodos de Escavação Subterrânea – Critérios “Segurança e Saúde” como Fator de Escolha é certamente uma excelente obra de referência, pela profundidade do seu trabalho, pela consistente investigação que a suporta e pela pertinência do tema na atualidade.

Rute Silva

Head of Market Development Tunneling and Mining - Sika Portugal, SA



Atualmente, o “subterrâneo” oferece uma disponibilidade de utilização de espaço que, na maioria das grandes cidades, já não está livre à superfície. Com efeito, o tráfego à superfície está saturado e a crescente necessidade de efetuar o rápido transporte só é possível através de uma eficaz rede rodoviária e ferroviária subterrânea, de que é prova a contínua extensão das redes de metropolitano e das rodovias enterradas em inúmeras cidades mundiais. Também o tráfego pesado tem vindo a ser retirado das rodovias implantadas à superfície, principalmente em áreas montanhosas, onde as condições de inverno são proibitivas. Por outro lado, as concessionárias de serviços básicos exigem a instalação de uma densa rede de infraestruturas que garantam o fornecimento de água, esgotos, comunicações e eletricidade às cidades que, de modo a não impactarem negativamente a qualidade urbanística, têm vindo a deixar a superfície e passado a desenvolverem-se no subsolo. Mesmo nas comunicações de longa distância, as redes ferroviárias de alta velocidade, integrando importantes obras subterrâneas, têm vindo a ganhar enorme preponderância sobre as comunicações via aérea, garantindo menores tempos de viagem. O uso de fontes de energia naturais, como a hidroelétrica, a disponibilização de diferentes equipamentos de utilidade pública, a criação de importantes instalações de armazenamento, bem como a exploração de matérias primas em minas, exigem a construção de impressionantes instalações subterrâneas. No passado, o uso do meio subterrâneo costumava ser considerada uma solução dispendiosa e perigosa, mas, nos últimos anos, tornou-se a forma mais eficiente de resolver boa parte dos problemas impostos ao desenvolvimento da sociedade. De facto, o contínuo desenvolvimento de novas técnicas e equipamentos de escavação, de novos materiais e a criação de legislação moderna e equilibrada para esta atividade específica influenciaram muito a atratividade da tecnologia de construção de obras subterrâneas. Todos estes fatores contribuíram decisivamente para tornar possível construir em subterrâneo de uma forma mais segura, ecológica, económica e muito mais rápida do que no passado. Efetivamente, a indústria das obras subterrâneas atravessa um dos seus períodos mais dinâmicos e tecnologicamente mais expansivos, encontrando-se em todo o mundo inúmeros túneis em construção, para os mais diversos fins. O fator humano ainda hoje continua a ser a questão crítica para o sucesso de uma determinada construção em subterrâneo. Com efeito, para além da imprescindível necessidade de estabelecer uma eficaz cooperação entre o Dono de Obra, o Projetista, a Fiscalização, o Empreiteiro e os seus fornecedores de equipamentos e materiais, a tomada de decisão sobre que tipologia de construção adotar é um momento fulcral de todo o processo. No passado recente, a opção entre o método de Escavação Convencional (MEC) e o de Escavação por Tuneladora (MET) baseava-se, essencialmente, na observação das características geométricas da obra subterrânea a realizar (secção, desenvolvimento, recobrimento, número de frentes de ataque disponíveis, etc.), das condições de resistência e de deformabilidade do terreno, da ocorrência de níveis de água subterrâneos, da tipologia da ocupação à superfície, da experiência dos intervenientes, do prazo e orçamento disponível para a realização de determinada obra subterrânea. Atualmente, à luz das atuais exigências da sociedade, essa opção deve, impreterivelmente, ser baseada também em critérios associados aos princípios de segurança e saúde. É em resultado da investigação realizada pelos autores, no sentido de colmatar a lacuna existente de estudos sobre as diferenças dos níveis de segurança e saúde associados aos dois métodos de escavação, bem como sobre a relevância do critério “Segurança e Saúde” na sua escolha, que nasce esta importante publicação. Com efeito, baseando a sua investigação em três cenários hipotéticos distintos, os autores apresentam um processo rigoroso e abrangente de análise da influência do critério “Segurança e Saúde” nas suas múltiplas vertentes, tendo-nos disponibilizado um instrumento que permite apreender as singularidades de cada método de escavação em relação a este critério particular. Trata-se de uma obra de enorme qualidade e rigor científico e que, indubitavelmente, é de leitura obrigatória para todos os técnicos e responsáveis envolvidos num empreendimento que inclua a construção de uma obra subterrânea.

Carlos Baião
CEO

AGRADECIMENTOS

Não é demais dizer que, nestes três anos de investigação, nos cruzamos com centenas de pessoas, tanto em Portugal como “lá fora”. Naturalmente, surgiram afinidades com alguns dos profissionais com quem privamos, e esses passaram a nossos parceiros profissionais. Às diversas pessoas que, de um ou de outro modo, colaboraram nesta investigação, servindo de referência, dando-nos orientação e “dando-nos a mão” nas alturas mais difíceis, para nos ajudar a ultrapassar os percalços que foram surgindo, deixamos aqui algumas palavras de agradecimento, que serão sempre parcas:

- As nossas famílias que sempre nos incentivaram;
- à Dra Alexandra Valle Fernandes, pela revisão/tradução deste documento;
- Aos membros do júri que tiveram a paciência de analisar a Tese de Doutoramento que deu origem a este livro: Professor Higinio Correia, Professor Fernando Branco (IST) e Professor João Santos Baptista (FEUP);
- À TecMinho, por ter aceitado a proposta de Investigação & Desenvolvimento;
- A todos os que participaram nos inquéritos desenvolvido;
- Às diversas entidades que nos cederam dados, instalações e uma grande diversidade de meios: CICCOPN, EDP, Consórcios Venda Nova III e Foz Tua ACE, Organização Internacional do Trabalho, Autoridade para as Condições de Trabalho, Instituto de Segurança Social – Departamento de Proteção contra os Riscos Profissionais, Gabinete de Estratégia e Planeamento, Gabinete de Suporte às Estatísticas do Eurostat;
- Aos Professores Cardoso Teixeira, Sérgio Miguel, Pedro Arezes, Alfredo Soeiro, Cristina Reis, Fernanda Rodrigues, Filipa Carvalho, por todo o apoio dado;
- Às empresas Mota Engil, ORICA, Domingos da Silva Teixeira, SIKA, pelo apoio financeiro que deram ao Projeto de Investigação e Desenvolvimento “SegOS-Segurança e Saúde em Obras Subterrâneas” associado a este Livro;
- À “Infraestruturas de Portugal” (Eng.º José Faleiro, Eng.º André Oliveira, Dr. Bernardo Monteiro, Eng.º João Baptista), ao Consórcio “Teixeira Duarte / EPOS” (Eng.º Carlos Russo, Eng.º Rui Luís, Dr. António Garcia) e à Prospectiva (Eng.º Pedro Castel Branco e Eng.º Rui Borges), por terem permitido enquadrar o Programa Doutoral sobre a obra do Túnel do Marão;
- Ao CICCOPN (Eng.º Amílcar Rodrigues, Eng.º Ferreira da Silva, Eng.º António Bastos), pela cedência do auditório para a realização dos eventos e pela cedência da sala de informática para a aplicação do inquérito;
- À EDP (Eng.º Jaime Queiroz, Eng.º Tiago Ferreira, Eng.º Arnaldo Videira) e à TPF-Cenor (Eng.º Carlos Baião e Eng.º Miguel Conceição), pela receptividade que tiveram ao inquérito. Aos elementos da EDP, um agradecimento adicional pela cedência de dados relativos a Acidentes de Trabalho;
- À Comissão Portuguesa de Túneis (CPT) – Eng. Bilé Serra, Eng. Raul Pistone;
- Aos Engenheiros Anselmo Vieira, Ricardo Reis, Donald Lamont, Phil DeeBank, Sérgio Matias, Eamonn Burns, Julio Cantalapiedra, Rolando Ordiz, Dammien Gannon, John Scholey, Francisco Sécio, Naotaka Kikkawa, os quais, cada um do seu modo, muito nos ajudaram;
- Aos nossos alunos, os quais esperamos que usufruam este livro;
- A todos aqueles (empresas e particulares) que, de um ou outro modo, tenham colaborado neste empreendimento e, por lapso, não tenham sido aqui mencionados.

- À memória do Eng.º João David e Silva, da Mota-Engil

TÍTULO

Métodos de escavação subterrânea - o critério “segurança e saúde” como fator de escolha

RESUMO

A gestão de riscos, crucial para o sucesso de uma obra subterrânea, está relacionada com o método de escavação e os condicionalismos existentes. Há vários anos que os métodos de Escavação Convencional (MEC) e de Escavação por Tuneladora (MET) competem, não existindo estudos sobre as diferenças dos níveis de segurança e saúde entre os dois, nem sobre a relevância do critério “Segurança e Saúde” na escolha do método de escavação. Para contribuir para colmatar esta lacuna, a investigação analisou o critério “Segurança e Saúde”. Primeiro, foi estudado o seu posicionamento relativamente aos restantes, no processo de escolha de método. Depois, os acidentes de trabalho e doenças profissionais mais comuns em subterrâneo com ambos os métodos foram tipificados. Numa terceira fase, passou-se para a avaliação de riscos e fatores ocupacionais, composta pela respetiva identificação, avaliação e hierarquização. Assim, foi realizada uma avaliação comparativa de riscos e fatores ocupacionais considerando três cenários distintos, de modo a perceber o impacto das diversas variáveis. O primeiro cenário apresentava a construção de um túnel de 3,5km de comprimento, em ambiente não urbano, e em maciço rochoso são e sem influência de água. Posteriormente, foram introduzidos condicionalismos (maciço rochoso heterogéneo, simultaneidade de trabalhos, e utilização de explosivos), que representam variáveis à solução inicial. Finalmente, foram exploradas as medidas minimizadoras dos riscos e fatores ocupacionais, com o objetivo de avaliar a sua influência no decréscimo dos mesmos, para cada método de escavação.

O resultado final da investigação é, portanto, um processo completo de análise da influência do critério “Segurança e Saúde” nas suas várias vertentes, consumando-se num instrumento que permite aos intervenientes conhecer as particularidades de cada método relativamente a este critério específico.

Palavras chave: tuneladora, convencional, critério, segurança, saúde, riscos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D – Três dimensões
ACT – Autoridade para as Condições de Trabalho
ANFO – mistura de nitrato amónio com gasóleo
AR – Avaliação de riscos
AT – Acidente(s) de trabalho
ATM – Acidente(s) de trabalho mortal(ais)
ATNM – Acidente(s) de trabalho não mortal(ais)
ATO – Acompanhamento técnico de obra
ATRP – Atropelamento
BIM – *Building Information Modelling*
BIOL – Exposição a agentes biológicos
BLOC – Queda de blocos de maciço rochoso/torrões de betão projetado
BTS – *British Tunnelling Society*
C – Consequência
CICCO PN – Centro de Indústria de Construção Civil e Obras Públicas do Norte
CLPS – Colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos
CONST – Construção
CPT – Comissão Portuguesa de Túneis
CSO – Coordenador de Segurança e Saúde em fase de Obra
CSP – Coordenador de Segurança e Saúde em fase de Projeto
DP – Doença(s) Profissional(ais)
E – Exposição
EE – Entidade Executante
EEAT – Estatísticas Europeias de Acidentes de Trabalho
EEUM – Escola de Engenharia da Universidade do Minho
ELEC – Eletrização / Eletrocussão
EODS – *European Occupational Diseases Statistics*
EPB – *Earth Pressure Balance*
EPI – Equipamento(s) de Proteção Individual
DIES – Exposição a poeiras provenientes de equipamentos a gasóleo
FLO – Ficha de levantamento de ocorrência
G – Gravidade
GEP – Gabinete de Estratégia e Planeamento
GT – Grupo de Trabalho
HAVS – Hand-arm vibration syndrome
HSE – *Health and Safety Executive*
I&D – Investigação e Desenvolvimento
INCN – Inalação de poeiras provenientes de incêndio

Ir – Índice de influência no risco
ISS – Instituto de Segurança Social
ITA – *International Tunnelling Association*
MAQal – Métodos de Avaliação Qualitativos
MAQt – Métodos de Avaliação Quantitativos
MASqt – Métodos de Avaliação Semi-Quantitativos
MEC – Método de Escavação Convencional
MET – Método de Escavação por Tuneladora
MP – Medida(s) Preventiva(s)
MPB – Medida(s) Preventiva(s) Base
MPEA – Medidas Preventivas “Estado da Arte”
NATM – *New Austrian Tunnelling Method*
NLE – *Northern Line Extension*
Nr – Índice de magnitude de risco
OIT – Organização Internacional do Trabalho
OS – Obras subterrâneas
PME – Problemas musculoesqueléticos
POEI – Inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado
Pr – Índice de nível de propensão
QUED – Queda ao mesmo nível/em altura
QUIM – Contacto com produtos químicos
Rr – Índice de redução de risco
RUID – Ruído
RUTR – Rutura de equipamentos ou acessórios
STRS - Stresse
TBM – *Tunnelling Boring Machine*
TdM – Túnel do Marão-2ª fase
TEMP – Temperaturas extremas/radiações
VIBR – Vibrações
UM – Universidade do Minho
VLE – Valor(es) Limite de Exposição
WBVS – Whole-body vibration syndrome
WG – *Working Group*
WTF – *William T. Fine*

1. INTRODUÇÃO

1.1. Panorama internacional do setor

As obras subterrâneas integram-se no setor da construção, sendo uma área específica em que tem existido uma fase de evidente desenvolvimento e grandes mudanças [1], com bastantes investimentos financeiros [2], e que está a aumentar de volume [3] e de importância no desenvolvimento das cidades [4]. Além disso, as mudanças e desafios institucionais, empresariais e conjunturais influenciam o setor de formas que ultrapassam em muito os conceitos de ordem técnica.

Diversos estudos emitidos pela imprensa internacional evidenciam que o mercado de obras subterrâneas tem vindo a crescer nos últimos anos, com um crescimento global de 5% por ano, tendo a maior subida sido registada na zona da Ásia, onde o mercado cresceu 15 vezes em 10 anos [5]. Dignos de relevo são os elevados investimentos neste tipo de obras em países como a China, Índia, Arábia, Colômbia, Peru e Chile [6]. Em termos europeus, dá-se o exemplo de Paris, com a expansão da linha de Metro, o *Grand Paris*, e do Reino Unido, onde se encontram em fase de projeto elevadíssimos investimentos, tais como o *Thames Tideway Tunnel*, o *Crossrail 2* e o *High Speed 2*.

De referir que o valor de construção por quilómetro linear de túnel, na Europa, pode oscilar entre as avultadas quantias de 24 e 63 milhões de dólares [7], o que significa que um “singelo” túnel de 10km pode custar a módica quantia de meio milhão de dólares.

Os túneis são utilizados para diversos fins há vários milénios [1]. O Método de Escavação Convencional (MEC) era o mais utilizado até ao advento da mecanização de equipamentos e o aparecimento das tuneladoras e roçadoras [2]. A utilização destes equipamentos aumentou bastante nas últimas décadas, e principalmente nos últimos 30 anos, quando os Métodos de Escavação por Tuneladora (MET) passaram a ser ponderados como alternativa ao MEC [8]. Neste momento, podem ser utilizados diversos métodos de construção de túneis: convencionais, por tuneladora, *cut and cover*, *pipejacking*, microtunelação, etc.. As soluções “*cut and cover*” têm vindo a ser menos utilizadas em grandes aglomerados populacionais, por questões ambientais e de proteção de infraestruturas, dando-se preferência ao MEC e ao MET como potenciais soluções.

No caso em investigação, serão analisados os dois métodos de escavação subterrânea mais amplamente utilizados em obras de maior envergadura: o MEC e o MET [9]. Em alguns casos, em termos técnicos e financeiros, é possível utilizar qualquer um destes dois métodos, pelo que urge decidir qual o método mais adequado a utilizar [10]. Pode salientar-se desde já que estes dois métodos apresentam características e diferenças bem vincadas e que cada um deles tem as suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo das circunstâncias [9]. Na verdade, a determinação do método mais apropriado é um dos maiores desafios da conceção e projeto de um túnel [11]. O processo de decidir qual o método de escavação subterrânea a utilizar é delicado e deve ser minucioso, sob pena de os resultados obtidos poderem ter graves efeitos sobre os trabalhadores e o público, com consequentes efeitos financeiros e logísticos. Naturalmente, o método

selecionado deverá permitir construir o túnel permitindo um pico de produção nas condições mais favoráveis, sendo simultaneamente capaz de gerir as piores condições com riscos toleráveis [9]. Embora a determinação do método mais adequado para a escavação seja um dilema antigo, dado os métodos competirem há mais de 30 anos [12], uma escolha bem ponderada revela-se crucial para a obtenção de resultados satisfatórios, em termos de produção, segurança, qualidade e ambiente [10]. Com o aumento dos desafios técnicos e da complexidade da construção deste tipo de obras e o respetivo avanço tecnológico, antecipa-se uma ainda maior dificuldade futura na escolha do método.

Olhando mais para a questão da gestão de riscos, a seleção de um método adequado pode ser agora considerada como uma primeira resposta aos riscos inicialmente identificados [13]. Assim, quando se lida com a escolha do método de escavação, tal como se considera o comprimento ou a secção transversal do túnel, é importante considerar o impacto da ocorrência de um acidente de trabalho ou do surgimento de uma doença profissional [9], de modo a que a segurança e saúde dos trabalhadores seja sempre salvaguardada [14]. Não é demais afirmar que uma escolha incorreta do método a usar irá levar ao aumento do risco de ocorrência de acidentes de trabalho (AT) e de surgimento de doenças profissionais (DP), com os impactos temporais, financeiros e logísticos associados [9].

Ao longo dos anos, os métodos sofreram grandes avanços tecnológicos, que melhoraram as condições de segurança e saúde na sua utilização. No entanto, apesar de alguns dos riscos terem desaparecido (por exemplo, os associados à utilização de pólvora no MEC), outros surgiram (por exemplo, as elevadas pressões derivadas da escavação em túneis mais profundos e em zonas com água).

1.2. Identificação do problema e justificação

Uma das partes cruciais de uma investigação é a identificação de um problema que carece de resolução. Através de um minucioso diagnóstico do problema existente pretende-se, então, identificá-lo de modo objetivo, explícito, claro e compreensível.

Pormenorizam-se abaixo as constatações que justificaram a necessidade de realizar investigação:

- 1) Os estudos comparativos entre métodos já publicados são generalistas, abordam esta temática qualitativa e superficialmente e não estão focados no critério “Segurança e Saúde”, pelo que não o detalham nem avaliam os riscos, quantitativamente e pormenorizadamente, em condições de trabalho e de maciço iguais. Duas afirmações atestam esta realidade: **“Não existem indicações para um nível sistematicamente diferente de grau de segurança e saúde para os dois métodos”** (tradução do autor), afirmação constante no mais recente relatório da *International Tunnelling Association* (ITA), elaborado pelos *Working Groups* 14 – *Mechanized Tunnelling* e 19 – *Conventional Tunnelling*, em abril de 2016, com recomendações para escavação subterrânea [10]. Esta lacuna foi também constatada pelo autor nos diversos contactos tidos no âmbito do *Working Group* 5 (*Safety and Health at Works*) da ITA. Esta afirmação reforçou outra, similar, proferida no ano anterior na *Rapid Tunnelling and Excavation Conference 2015*, uma das mais

conceituadas reuniões de foro técnico-científico a nível mundial, onde Fulcher declarou “Não existem estudos aceites pela comunidade internacional sobre as vantagens de um ou do outro método em termos de segurança e saúde” [15]. A Dissertação de Mestrado realizada pelo autor Manuel Tender já se referia a esta necessidade nas conclusões, referindo: “O tema em questão deverá ser alvo de novas contribuições, designadamente em termos internacionais e em termos comparativos com outras técnicas de tunelamento” [16]. Aneziris, tendo realizado uma avaliação de riscos numa utilização do MET, refere que “deve ser realizada investigação, de modo a ter em conta os condicionalismos do ambiente de trabalho, e devem ser realizados questionários, de modo a avaliar estes riscos” [17].

Com esta incógnita, torna-se impossível a um Dono de Obra, na escolha do método a utilizar, conhecer o impacto futuro da sua escolha na segurança e saúde. A possibilidade de fazer uma opção correta permitirá, em fase de obra, uma otimização de meios, com consequente economia de custos, derivada da não ocorrência de acidentes de trabalho e doenças profissionais.

2) **“Não existem dados estatísticos compilados de AT e DP em obras subterrâneas publicados que permitam aferir e quantificar tendências de ocorrência de AT ou surgimento de DP”** [1]. A própria ITA, no seu *Working Group 5*, nunca apresentou estatísticas sobre a frequência e a natureza dos AT e das DP [18]. Quanto às entidades gestoras de estatísticas de cada país, que compilam geralmente os dados da construção, não costumam distinguir os diferentes tipos de trabalhos, como a tunelamento [19]. Exceptua-se a *Japanese Tunnelling Association*, que realizou um pequeno estudo sobre acidentes de trabalho ocorridos entre 2008 e 2012 [20].

Também esta necessidade já tinha sido identificada nas conclusões da Dissertação de Mestrado realizada pelo autor Manuel Tender: “A criação de uma base de dados de acidentes de trabalho específica para o setor da construção poderia auxiliar, em muito, a investigação nesta área, dado que permitiria uma melhor elaboração das medidas de prevenção” [16]. Também Teixeira, que, em 2009, estudou os níveis de risco dos diversos métodos de estabilização, refere a necessidade de “recolher [futuramente] toda a informação relativa a acidentes ou incidentes ocorridos em túneis, sendo eles de maior ou menor gravidade” [21]. Na altura, não houve sequência em termos de investigação.

Como se deduz, com esta incógnita, torna-se difícil obter dados estatísticos que possam servir como base para a realização de avaliação de riscos coerente e baseada em factos já ocorridos, bem como dados que sirvam para priorizar riscos em fase de projeto e de obra.

- 2) **“As medidas de segurança aplicáveis a cada método carecem de novos desenvolvimentos”** [22], pois apenas assim será possível à comunidade técnico-científica conhecer o estado da arte em termos de medidas preventivas.
- 3) **Não existe, a nível nacional, nenhum documento legislativo, normativo ou de carácter prático, que consubstancie os requisitos mínimos a observar na construção de obras subterrâneas.** Apesar da diversa legislação, normalização e guias de boas práticas existentes e aplicáveis ao setor da construção

(Decreto-Lei 273/2003, Decreto 41821 e outros), nenhum aborda a especificidade das obras subterrâneas. Este facto provoca um vazio no conhecimento, nada conveniente para o setor, dado potenciar o aparecimento de práticas desleais de concorrência, corrompendo o mercado, e originar um vazio legal quanto aos critérios mínimos a observar em fase de projeto e obra.

Perante este conjunto de lacunas técnico-científicas, que pode propiciar uma subvalorização da temática, justificou-se uma posição de maior relevo do conhecimento científico e da universidade, cumprindo o Plano Estratégico da Universidade do Minho, que prevê a “*procura de respostas/interrogações da sociedade*”.

1.3. Objetivos

O objetivo geral foi analisar a importância do critério “Segurança e Saúde” no processo de escolha do método de escavação, analisando-o em todas as suas vertentes: relativamente aos eventos já ocorridos (por ex., acidentes de trabalho e doenças profissionais), aos riscos que possam vir a existir e à valoração dos mesmos, e à proposta de medidas preventivas para o que pode vir a ocorrer.

Este objetivo geral pode ser subdividido em objetivos parciais e mais específicos, listados abaixo:

1- Realizar uma revisão bibliográfica e um levantamento do estado da arte quanto ao tema;

2- Identificar os principais riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, associados à construção de obras subterrâneas;

3- Aferir o posicionamento do critério “Segurança e Saúde” no processo de escolha do método a utilizar;

4- Caracterizar e comparar, em quantidade e tipo, os acidentes de trabalho e doenças profissionais registados em Portugal em obras subterrâneas;

5- Identificar os princípios comuns aos dois métodos;

6- Realizar uma comparação de riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, entre os dois métodos;

7- Identificar as medidas preventivas mais atuais para cada risco e fator ocupacional e avaliar a sua pertinência;

8- Caracterizar as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos a cada um dos métodos;

1.4. Enquadramento científico-empresarial

Qualquer projeto de investigação carece de relação com o mundo real e com a sociedade. Se assim não for, existe o risco de divergências com a realidade e posterior dificuldade de aplicação dos resultados da investigação, ponto fraco que se revelou em algumas das Teses que o autor analisou. Um dos pontos referidos no Plano Estratégico da Universidade do Minho 2020 [24] é, precisamente, a interação com a sociedade: “*Uma universidade que, não colocando em causa aquilo que representa a sua identidade institucional, historicamente construída, não recusa a abertura às suas múltiplas envolventes, mantendo um diálogo aberto com os atores*

económicos, culturais e sociais, valorizando, no horizonte da sua ação, a necessidade de resposta aos desafios que aqueles lhe colocam". Entende-se, então, que a ligação de um estudo científico/académico deste tipo com o meio empresarial permitirá, através de parcerias estratégicas, eliminar as barreiras à comunicação que frequente e inadvertidamente se verificam, trazendo vantagens mútuas:

- Para a Universidade: dispor saberes à comunidade industrial, exportando o *know-how*, através de atividades centradas na transferência de saberes e no apoio ao desenvolvimento do tecido empresarial; identificar oportunidades de I&D; verificar a aplicabilidade do melhor conhecimento produzido, mediante a sua integração em processos produtivos reais; criar uma imagem exterior, valorizando a perceção que a comunidade nacional tem da mesma.

- Para as Empresas: aproveitar espaços e infraestruturas tecnológicas orientadas para a investigação para operacionalizar as suas atividades de inovação, sofisticando os seus processos produtivos; aproveitar a sinergia para fomentar a sua auto-renovação, ao nível da gestão, conhecimento de mercados e acumulação de capital físico e humano; transmitir uma imagem de patrocinadores de ciência; desenvolver aptidões de recursos humanos. Recorde-se que, conforme defendido por Lúcio, *"a obtenção de elevados níveis de produtividade dependerá da sofisticação com que as empresas competem, através da procura de níveis sempre crescentes de aptidões e tecnologia"* [25]. Assim, abre-se caminho para uma expansão da produtividade e um aumento de competitividade, que tem na sua base a investigação pura e aplicada e, como consequência, a integração dos resultados obtidos nos processos produtivos, valorizando assim o conhecimento científico, e aproveitando-o para evitar a ocorrência de situações negativas que tenham impacto no processo produtivo e, consequentemente, financeiro.

1.5. Questões de investigação

Estabelecer questões de investigação é o primeiro passo, e talvez um dos mais importantes, num processo de investigação. As questões devem explicitar a área de investigação, pretendendo-se que sejam interessantes, pertinentes, precisas, profundas e respondíveis através de processos de base científica. As questões estabelecidas orientam o tipo de investigação a realizar, bem como a informação a procurar.

Para escarpelizar o critério Segurança e Saúde, e perceber quais os requisitos mínimos a atender e os pontos a salvaguardar, foi preciso estabelecer questões de investigação, em diversos campos, que permitissem aferir em que vertentes deve o critério em estudo ser introduzido no processo de decisão.

Apresenta-se abaixo a Tabela 1 que indica os objetivos traçados, e já descritos, para a investigação (na coluna da esquerda) e as correspondentes questões de investigação colocadas (Qx). De referir que as questões de investigação 5 a 20 se reportam a um cenário em que a construção do túnel pode ser, técnica e financeiramente, viável com os dois métodos, permitindo uma comparação bastante direta.

Tab.1-Objetivos traçados e questões de investigação estabelecidas

Objetivos traçados	Questões de investigação estabelecidas
---------------------------	---

Identificar os principais riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, associados à construção de obras subterrâneas;	<u>Q1 - Quais os principais riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde ocupacional, presentes na construção de obras subterrâneas?</u>
Aferir o posicionamento do critério “Segurança e Saúde” no processo de escolha do método a utilizar;	<u>Q2 - Qual o posicionamento do critério “Segurança e Saúde” perante os restantes critérios considerados, no processo de decisão de escolha do método de escavação?</u>
Caracterizar e comparar, em quantidade e tipo, os acidentes de trabalho e doenças profissionais registados em Portugal em obras subterrâneas;	<u>Q3 - Qual o tipo de AT e DP típico (ou seja, o de ocorrência mais frequente ou de surgimento mais provável) que corresponde ao AT e DP mais frequentes em obras subterrâneas?</u>
Identificar os princípios comuns aos dois métodos;	<u>Q4 - Quais os requisitos que devem ser garantidos, independentemente do método escolhido?</u>
	<u>Q5 - Quais os riscos com nível mais elevado em obras subterrâneas?</u>
	<u>Q6 - Qual dos métodos de escavação apresenta níveis de risco mais elevados?</u>
	<u>Q7 - Quais os riscos com nível mais elevado em cada método de escavação?</u>
Realizar uma comparação de riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, entre os dois métodos;	<u>Q8 - Qual das fases de trabalho apresenta níveis de risco mais elevados?</u>
	<u>Q9 - Quais os riscos mais elevados, em cada uma das fases de trabalho, para cada um dos métodos?</u>
	<u>Q10 - Quais os riscos que apresentam, em cada método e para cada uma das fases, níveis não toleráveis?</u>
Identificar as medidas preventivas mais atuais para cada risco e fator ocupacional e avaliar a sua pertinência;	<u>Q11 - Qual a influência global que cada um dos três cenários descritos tem em cada método de escavação?</u>
	<u>Q12 - Qual a influência dos diversos cenários em cada risco, em cada um dos métodos?</u>
	<u>Q13 - Quais os riscos em que cada cenário apresenta um nível de influência não tolerável?</u>
	<u>Q14 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão de ocorrer em obras subterrâneas?</u>
	<u>Q15 - Qual dos métodos de escavação subterrânea apresenta maior tendência para existência de condições propícias ao surgimento dos fatores ocupacionais identificados?</u>
	<u>Q16 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão para ocorrerem em cada método de escavação?</u>
	<u>Q17 - Qual das fases de trabalho tem maiores níveis de propensão de fatores ocupacionais, em cada um dos métodos?</u>
	<u>Q18 - Quais os fatores ocupacionais mais propensos, por método e por fase de trabalho?</u>
	<u>Q19 - Quais os fatores ocupacionais que apresentam, em cada método e para cada uma das fases, níveis não toleráveis?</u>
	<u>Q20 - Quais as medidas preventivas estado da arte que apresentam um nível de pertinência de implementação bastante relevante?</u>
Caracterizar as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos;	<u>Q21 - Quais as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos?</u>

Para cada resposta às questões de investigação colocadas (Q_x), será adotada a denominação correspondente à questão de investigação (R_x). As questões de investigação, e respetivas respostas, serão apresentadas no início ou final do capítulo ou sub-capítulo correspondente.

Conseguindo obter respostas a estas questões, a investigação ganha um grande e verdadeiro significado prático, sempre necessário nas investigações ligadas à temática de gestão de riscos [26].

1.6. Público-alvo

Os resultados têm um público-alvo potencial muito alargado, podendo interessar, por um lado, a técnicos portugueses e estrangeiros com funções diversificadas (entre donos de obra, projetistas, coordenadores de

segurança em fases de projeto e de obra, construtores, técnicos de segurança, fiscalização, consultores, fornecedores) e que necessitem de desenvolver documentos técnicos, como cadernos de encargos, manuais e planos de segurança e saúde. Por outro lado, espera-se que desperte interesse a investigadores, docentes e estudantes da área, já que fornecerá uma base estruturada de informação para desenvolvimento de novos projetos académicos.

1.7. Pormenorização do título

“Critério ‘Segurança e Saúde’” – uma das temáticas menos exploradas em termos científicos aquando da comparação entre métodos;

“Fator de escolha” – diversos fatores são ponderados aquando da escolha de método;

“Método de escavação” – foram escolhidos os dois principais métodos de escavação subterrânea, por serem aqueles que mais se utilizam a nível mundial;

“Escavação Subterrânea” – a obra subterrânea é um tipo de obra tendencialmente em expansão e com elevado potencial de receber novas contribuições técnico-científicas.

1.8. Organização

O corpo do texto encontra-se estruturado em 11 capítulos, fortemente inter-relacionados, explorando o tema seguindo um fio condutor entre os mesmos. O capítulo 1 apresenta o trabalho e refere o enquadramento do mesmo na situação atual, demonstrando a sua relevância. Nele se definem: a identificação do problema e sua justificação, os objetivos, o enquadramento científico-empresarial, a organização das questões de investigação, o público-alvo, a pormenorização do título, a organização e o modo como foi feita a revisão bibliográfica e o levantamento do estado da arte. O capítulo 2 foca-se na apresentação das obras subterrâneas, apresentando uma resenha histórica, expondo a situação atual e caracterizando as tendências futuras. São também caracterizados os métodos a estudar. Para introdução à abordagem do critério “Segurança e Saúde” é realizada, no capítulo 3, uma apresentação ao processo de gestão de riscos. No capítulo 4, é estudado o processo de escolha do método de escavação, bem como os respetivos critérios a que a mesma obedece. No capítulo 5, é apresentada a análise estatística realizada aos AT e DP ocorridos em Portugal nos últimos anos. Como primeira parte do processo de gestão de riscos, apresentam-se, no capítulo 6, os requisitos que devem ser garantidos nos dois métodos. No capítulo 7, é apresentado o procedimento utilizado para a investigação comparativa entre métodos. No capítulo 8, apresentam-se os resultados da avaliação de riscos e propensão de fatores ocupacionais, realizada à luz da revisão bibliográfica e levantamento do estado da arte concluído. No capítulo 9, discutem-se os resultados obtidos, tendo em conta a informação teórica e prática reunida. No capítulo 10, abordam-se as medidas preventivas para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos (e que não foram incluídas na comparação realizada). No capítulo 11, são apresentadas as

conclusões (gerais e técnico-científicas), as limitações da investigação e as implicações práticas desta investigação.

No anexo, são apresentados os mapas de avaliação de riscos e fatores ocupacionais.

Na Figura 1, apresenta-se o fluxo de trabalhos desenvolvidos, tentando sintetizar as atividades desenvolvidas e já descritas anteriormente:

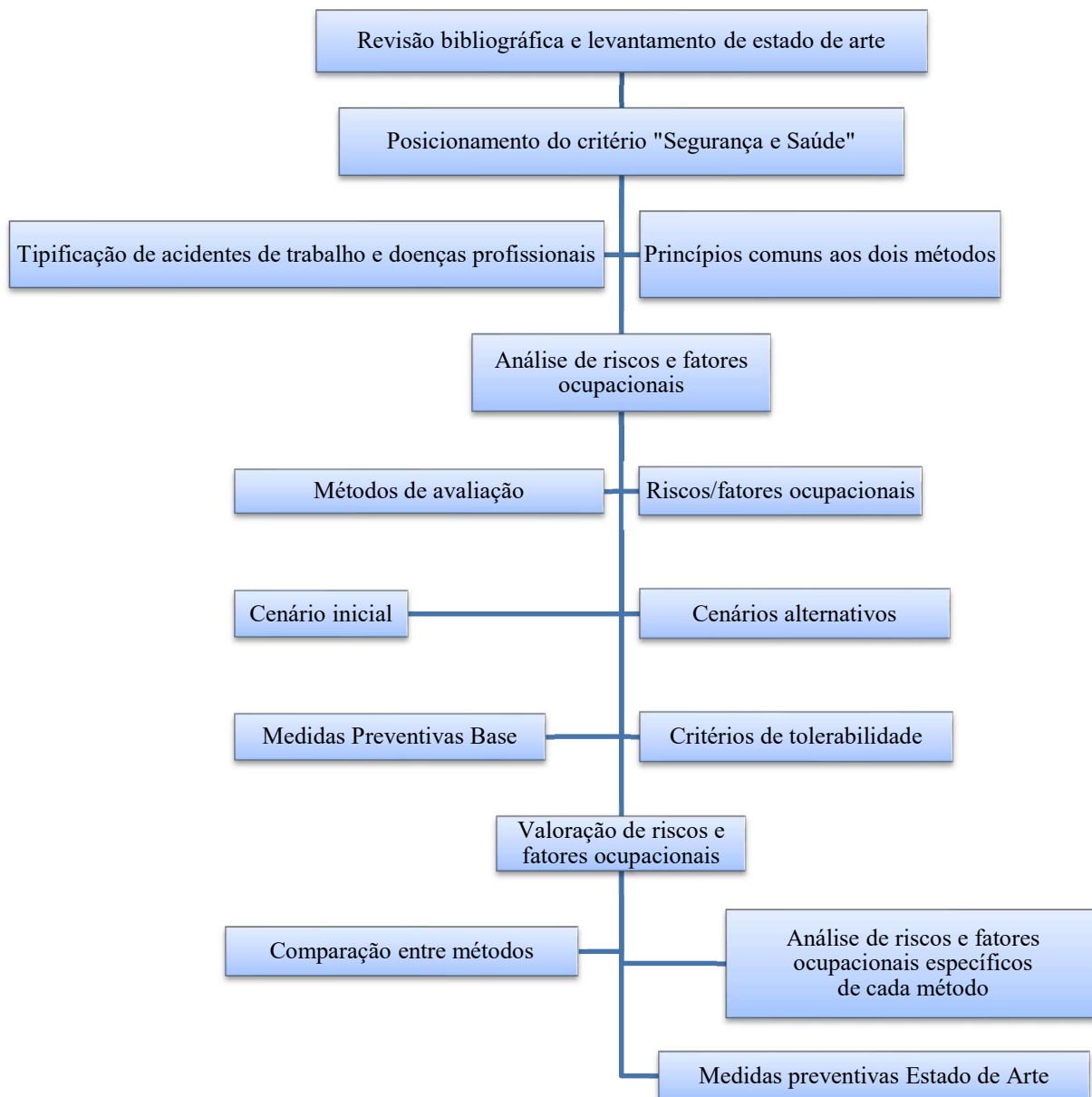


Fig.1-Fluxograma de atividades

1.9. Revisão bibliográfica e levantamento de estado de arte

1.9.1. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica, sendo uma procura de hipóteses e o corpo teórico no qual esta tem os seus fundamentos, é uma parte imprescindível do processo de investigação que, influenciando todas as suas etapas, fornece a base para a mesma, extravasando uma mera recitação de informação proveniente de outras fontes [27]. De realçar que qualquer revisão bibliográfica é uma procura de literatura teórica e empírica, mas também, mais do que isso, é um exame profundo a debates atuais da área [28].

Assim sendo, a revisão bibliográfica teve como objetivos:

- Caracterizar os trabalhos desenvolvidos até à data, identificando as contribuições dadas (de diversos pontos de vista), os métodos utilizados e a semelhança ou diferença de opiniões dos diversos autores, com os respetivos pontos fortes e pontos fracos;
- Situar técnica e temporalmente a investigação e posicionar o autor face às fontes recolhidas;
- Encontrar as variáveis que fazem a distinção entre os dois métodos em estudo;
- Identificar as áreas que ainda não foram investigadas;
- Identificar hipóteses para as questões de investigação;
- Evitar abordar questões que já foram alvo de estudo anterior.

Após a escolha das questões para investigação, foi iniciada a revisão bibliográfica, que implicou, naturalmente, a leitura de uma grande quantidade de documentos [28]. As fontes bibliográficas foram criteriosamente selecionadas, de modo a poderem ser a base sobre a qual se poderia fazer progredir a investigação [28].

Para otimizar a revisão bibliográfica, antes do seu início, foram estabelecidos os seguintes critérios de triagem de documentos:

- Proveniência de fontes, designadamente bases de dados, credíveis;
- Artigos revistos por pares, teses, dissertações, relatórios de projetos de I&D, livros, relatórios institucionais;
- Em português ou inglês;
- Data de publicação posterior a 2007; dentro destas, a prioridade foi dada a publicações com menos de 5 anos, avaliadas por pares e de reconhecido prestígio. De referir, no entanto, que foram incluídas publicações anteriores a esse ano, devido à sua elevada relevância para o tema.

A pesquisa foi realizada, durante toda a investigação, tendo em conta as palavras-chave relativas aos assuntos em investigação; as palavras-chave e os termos utilizados para a pesquisa por título foram sendo gradualmente estabelecidos, consoante as necessidades da pesquisa. As línguas utilizadas foram o português e o inglês. Algumas das palavras-chave usadas foram: construção, tunelamento, acidentes de trabalho, doença profissional, NATM, TBM, critérios, avaliação de riscos, gestão de riscos e métodos de avaliação de riscos. Após a identificação das palavras-chave, realizou-se uma pesquisa simples em cada uma das bases de dados, tendo-

se obtido resultados adequados. De modo a assegurar que os artigos estudados tinham a necessária credibilidade, foi dada prioridade a fontes primárias, a saber, edições com revisão por pares. Por ordem decrescente de importância, utilizaram-se as seguintes fontes: 1) artigos publicados em revistas internacionais (com preferência para revistas como *Safety Science*, *Tunnelling and Underground Space Technology* ou *Journal of Safety Research*); 2) livros publicados por editores de renome; 3) teses e dissertações académicas disponíveis através dos portais da Universidade do Minho; 4) atas de conferências internacionais e nacionais. Além disso, aquando da sua estada em Londres, o autor conduziu uma pesquisa na biblioteca da Institution of Civil Engineers.

Foi ainda feita a separação da literatura teórica da literatura empírica, privilegiando-se para este trabalho a empírica, para que as suas conclusões possam ser baseadas em factos o mais reais possível.

Numa primeira abordagem, foi feita uma leitura dos resumos dos artigos, com vista a seleccionar aqueles que se encontravam dentro da temática analisada. Os artigos assim seleccionados foram, então, lidos atentamente. Posteriormente, a documentação seleccionada foi resumida e questionada criticamente, tendo o autor realizado alguns exercícios de especulação e avaliação da pertinência dos vários pontos de vista. Finalmente, foi feita uma síntese dos resultados obtidos dos diversos pontos de vista, tanto convergentes como divergentes. Foram ainda analisadas as bibliografias dos artigos inicialmente lidos, tendo sido detetados artigos suplementares.

No entanto, como é óbvio, a revisão bibliográfica para a investigação apenas pôde ser dada como concluída no término da investigação.

A revisão bibliográfica relativa a cada tema específico é realizada no respetivo capítulo.

1.9.2. Levantamento do estado da arte

A origem do termo “estado da arte” é incerta. George Washington terá utilizado o termo numa carta a Lafayette, em 1798, para distinguir o comércio das artes úteis, ao referir “*While our commerce has been considerably curtailed for want of that extensive credit formerly given in Europe, and for default of remittance; the useful arts have been almost imperceptibly pushed to a considerable degree of perfection*” [29]. A primeira utilização do termo “estado da arte” documentada pelo Oxford English Dictionary data de antes de 1910, num manual de engenharia de H. H. Suplee, intitulado “*Gas Turbine*”, que afirma “*In the present state of the art this is all that can be done*” [30]. A expressão “estado da arte” é, assim, utilizada há várias décadas, com especial ênfase no mercado de publicidade e *marketing*, e significando que algo é preparado com a tecnologia mais evoluída. O levantamento de “estado da arte” para esta investigação pode, assim, ser definido como a atividade de obter informação sobre o nível mais elevado de desenvolvimento alcançado até à data do final da investigação, possibilitando assim perceber quais serão os potenciais acréscimos da investigação para o estado de conhecimento atual. De realçar que o levantamento de “estado da arte” é realizado através da revisão bibliográfica de onde se retira informações sobre o referido nível mais elevado de desenvolvimento.

Fazer o levantamento do estado da arte é uma atividade árdua e crítica, e é uma parte imprescindível do processo de investigação, influenciando todas as etapas da mesma, na medida em que dará as bases para a investigação em elaboração, examinando o mais atual saber realizado por investigadores cujo trabalho foi reconhecido como valioso.

O levantamento de “estado de arte” relativo a cada tema específico é realizado no respetivo capítulo.

1.10. Metodologia de investigação

1.10.1. Introdução

O grau de precisão dos objetivos pré-definidos para esta investigação é elevado, exigindo dela um elevado grau de eficácia, para que possa ser considerada um instrumento de valorização do conhecimento. Passa-se a explicar os fundamentos das metodologias utilizadas, revelando a estratégia seguida pelo autor para atingir os objetivos propostos, ao descrever o modo de organização, leituras e dados recolhidos, que se pretende de fácil leitura e interpretação. A metodologia utilizada, que se pretende o mais coesa possível, teve como pilares:

- Uma postura proativa e criativa;
- A utilização de diversas técnicas de recolha de dados, aumentando assim o grau de fiabilidade dos dados obtidos;
- A fundamentação em dados empíricos, de modo a maximizar a aliança entre a componente teórica e a experiência prática;
- A realização de parcerias sólidas com diversos intervenientes no setor, de modo a possibilitar a obtenção de dados o mais credíveis e completos possível;

- A divisão da informação em informação primária e informação de segundo nível. Por informação primária, entende-se aqueles casos em que o acesso à informação foi total, tendo sido possível obter toda a informação necessária à formulação de hipóteses; por informação de segundo nível, entende-se aqueles casos em que o acesso à informação foi parcial, não tendo sido possível obter um conjunto de dados completo, ou em que a informação é omissa num ponto importante.

É necessário realçar aqui alguns casos em que pode ter havido lugar a falhas de informação, dada a confidencialidade ou restrição requerida em algumas situações. De igual modo, por falta de interesse de divulgação de algum interveniente no processo, pode ocorrer que a informação seja dada de modo incorreto (por exemplo, informação parcial ou corrompida).

Para as diversas fases da investigação, foram escolhidos vários métodos de pesquisa de dados, considerados adequados aos fins de cada fase. De um modo geral, foi utilizada a pesquisa bibliográfica, a realização de inquéritos e a recolha de dados em campo.

Por uma questão de facilidade de leitura e compreensão da investigação, as metodologias específicas adotadas em cada fase da investigação serão descritas nos respetivos capítulos.

1.10.2. Casos de suporte à investigação

Para garantir a maior atualidade e interligação com o panorama real dos empreendimentos atuais, torna-se essencial realizar uma abordagem intensiva ao que é praticado atualmente num conjunto pré-estabelecido de obras.

As obras selecionadas para recolha de alguns dados foram escolhidas entre uma gama diversa de obras registadas e foram criteriosamente triadas dos empreendimentos em curso (nem todos os casos apresentam uma relevância elevada em termos de estado da arte e boas práticas), tendo em conta aqueles considerados mais fidedignos e notabilizados pela adoção de boas práticas e sobre os quais o autor possui um conhecimento da realidade. Assim, garantiu-se que os resultados seriam relevantes para a investigação e que permitiriam compreender a situação atual (nem todos os casos se apresentavam como uma mais-valia para a investigação).

Para desenvolver esta investigação, o autor Manuel Tender considerou pertinente ir ver como se trabalha no estrangeiro, não se restringindo a Portugal, para saber falar sobre o estado de arte, inserindo-se na perspetiva explanada no Plano Estratégico da UM 2020 [24] - *“universidade internacionalizada, isto é, como uma universidade que, não recusando a sua inscrição num contexto regional e nacional específicos, assume que é inerente ao cumprimento da sua missão o desenvolvimento da sua ação num contexto internacional”*.

Com base no acima referido, o autor escolheu três obras, uma a nível nacional, duas a nível internacional.

A nível nacional, o Túnel do Marão - 2ª fase – onde o autor prestou serviços de Coordenação de segurança em fase de obra entre outubro de 2014 e maio de 2016.

Em termos internacionais, o Crossrail, da qual o autor teve a oportunidade de recolher várias informações a partir dos relatórios públicos disponíveis na Internet **e a Northern Line Extension**, onde o autor realizou um estágio em setembro de 2016.

Segue-se, agora, uma pequena apresentação das três obras referidas.

A obra da segunda fase do Túnel do Marão, doravante designada TdM, foi escolhida, entre outros motivos, por ser o túnel rodoviário mais extenso da Península Ibérica, e por ser a obra onde o autor prestou serviços. Este túnel situa-se no Nordeste de Portugal continental, fazendo a travessia entre o Minho e Trás-os-Montes, e está enquadrado no Itinerário Principal nº 4. Mais concretamente, o TdM permite o atravessamento subterrâneo da Serra do Marão, no eixo Este-Oeste, entre Ansiães-Amarante e Campeã-Vila Real (Figura 2). O Plano Rodoviário Nacional – PRN 2000 identifica o Itinerário Principal n.º 4, estendendo-se entre Porto e Quintanilha (na fronteira com Espanha) (Figura 2), tendo em Vila Real e Bragança os seus pontos intermédios. Em termos supranacionais, pertence à Rede Transeuropeia de Transportes, e está classificado como Estrada Europeia 82.

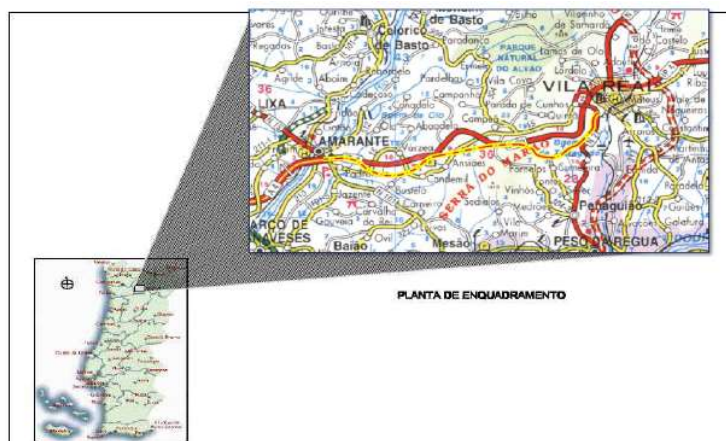


Fig.2-Enquadramento geográfico do TdM [31]

O Túnel é constituído por duas galerias paralelas de 5667 m de comprimento (Figura 3), com 13 interligações, pedonais e para veículos, e foi escavado utilizando o MEC.



Fig.3-Túnel do Marão–vista geral [31]

A construção do túnel do Marão teve algumas peripécias, levando a que a mesma tivesse sido concluída em duas fases distintas.

Na primeira fase, para efeitos de financiamento/conceção/construção e exploração, o lanço entre Amarante e Parada de Cunhos foi integrado na “Concessão do Túnel do Marão: A4/IP4 - Amarante-Vila Real”. Esta concessão, por sua vez, foi atribuída à Concessionária Auto-estradas do Marão, SA..

Os trabalhos da primeira fase tiveram início em junho de 2009, mas, devido à interposição de uma providência cautelar, foram suspensos em setembro do mesmo ano. Ultrapassada a questão, o Concessionário da altura reiniciou os trabalhos, mas apenas em setembro de 2010. Em junho de 2011, deu-se nova interrupção, desta vez devido a constrangimentos financeiros. Esta paragem corresponde ao final da habitualmente chamada “1ª fase do Túnel do Marão”, ficando a obra com 3961 m por escavar. Nesta altura, inicia-se uma batalha jurídica que leva a que a “IP - Infraestruturas de Portugal, S.A.” tome conta do empreendimento. Em inícios de 2014, o processo tem um avanço relevante: a 25 de fevereiro, é tornada pública a decisão favorável de Financiamento do POVT para retomar as obras. O custo de investimento na “nova” Concessão rondou os 150 M€, e o reembolso aprovado foi de 89 M€. A relevância desta obra para a coesão territorial é evidenciada pelo co-financiamento que obteve do Fundo de Coesão. Aliás, o Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas Horizonte 2014-2020, publicado em abril de 2014, salienta esta obra como uma intervenção estratégica complementar, integrada no eixo de desenvolvimento prioritário - Corredor Internacional Norte. Este co-financiamento possibilitou a redução do montante da contrapartida nacional que a “Infraestruturas de Portugal” teria de assumir a menos de 50% do valor do investimento.

A “IP - Infraestruturas de Portugal, S.A.”, adjudicou a empreitada, em regime de Conceção/Construção, ao Consórcio Teixeira Duarte - Engenharia e Construções, S.A. e EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A., pelo valor de 88099873,47€. O Consórcio distribuiu as atividades a executar por cada uma das empresas, sendo que a EPOS - Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A. ficou responsável pela escavação e revestimento definitivo e a Teixeira Duarte - Engenharia e Construções, S.A. ficou responsável pela instalação dos sistemas e equipamentos de segurança ativa e não ativa, drenagens, pavimentação e edifícios técnicos.

Em outubro de 2014, teve início a segunda fase de escavação subterrânea e os trabalhos de revestimento definitivo (impermeabilização, drenagem, montagem de armaduras e betonagem de revestimento final). A escavação foi realizada em quatro frentes simultâneas (duas do lado Este e duas do lado Oeste). A obra mobilizou cerca de 800 trabalhadores na fase de maior volume de trabalhos.

- O **Crossrail** foi uma das maiores empreitadas ferroviárias realizada na Europa nos últimos anos (Figura 4) e consistiu na construção de 118 quilómetros de novas linhas em Londres.



Fig.4-Painel divulgação Crossrail [32]

A principal linha (cujo traçado se apresenta na Figura 5, numa ilustração constante de peças de projeto e que pela sua pertinência para o enquadramento aqui se apresenta), que atravessa Londres na direção Este-Oeste, consiste em 42 km de novos túneis.

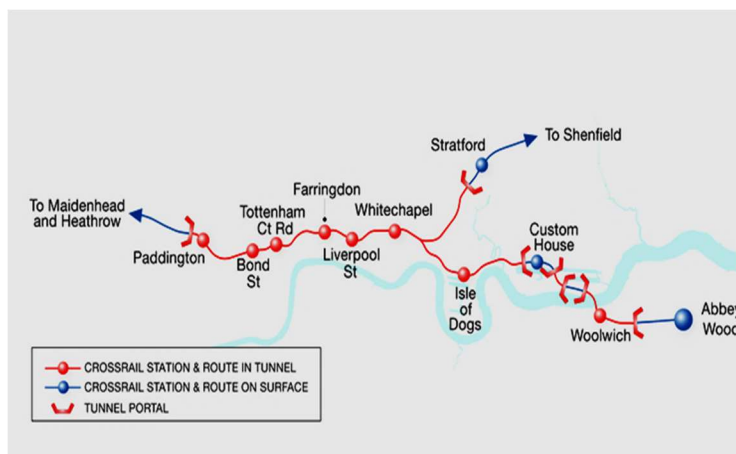


Fig.5-Traçado do Crossrail [32]

Os trabalhos foram iniciados em 2009, tendo a escavação subterrânea sido realizada com o MET e terminada em 2016 e prevendo-se a inauguração da secção principal da obra (Paddington-Abbey Wood) para 2018. Esta obra, que obrigou à mobilização de 14.000 trabalhadores no pico de obra, foi adicionalmente escolhida por ser uma obra internacionalmente reconhecida, por diversas instituições e autores, como emblemática, em termos de implementação de medidas de segurança e de sucesso de índices de sinistralidade.

- A **Northern Line Extension**, doravante designada por NLE era a maior obra subterrânea em Inglaterra em curso em finais de 2016. Localiza-se no centro de Londres e faz a ligação entre Kennington e Battersea, terminando no futuro empreendimento *Battersea Power Station* (Figura 6) e que pela sua pertinência aqui se apresenta. O custo previsto da obra é de 628000000 eur.



Fig.6-Traçado da extensão da Northern Line Extension [33]

A empreitada é promovida por fundos privados, com contribuições de outros interessados no empreendimento, tendo sido adjudicada por cerca de 500 milhões de libras, ao Consórcio Ferrovia Agroman/Laing O'Rourke, em regime de conceção/construção (sendo o projetista a Mott McDonald).

O túnel terá cerca de 5,2 km de extensão, a escavar com o MET (Figura 7), e terá duas novas estações, em Battersea Power Station e Nine Elms, servindo a futura zona de embaixadas, designadamente dos EUA e da Holanda.



Fig.7-Estaleiro da Northern Line Extension [34]

A empreitada teve início em 2015 e deverá terminar em 2020.

1.10.3. Contactos com especialistas mundiais na matéria

Dada a natureza tradicionalmente individualista de uma investigação, pode haver a tentação de subestimar a importância de obter informações adicionais, para além das constantes em artigos, livros e teses, que permitam uma melhor ligação com o mundo real de projeto e construção de empreendimentos e, conseqüentemente, uma maior credibilidade dos resultados obtidos. Uma das fontes de informação adicionais é a orientação de especialistas [28].

Tal orientação, para além de facilitar a procura de referências, pode levar à socialização em comunidades de investigação onde o investigador pretenda entrar [28], por ex., em eventos internacionais, onde marcam presença diversos autores de livros ou artigos de referência, ou investigadores com interesses similares [23]. O autor fez questão, portanto, de estabelecer diversos contactos a nível internacional e fazer o investimento financeiro que lhe permitiu estar presente nos eventos de maior renome sobre o tema. Presenciou e participou, designadamente, em:

- *British Tunnelling Society Conference 2016* (Londres)
- *British Tunnelling Society Health and Safety Underground Course 2016* (Londres)
- *World Tunnel Congress 2015* (Dubrovnik) e reunião do *Working Group "Safety and Health at Works"* da ITA, paralela ao mesmo.

Nestes eventos, teve a oportunidade de conviver e trocar ideias com alguns dos mais importantes especialistas mundiais da área, retirando muitas lições das suas experiências (em alguns casos de décadas) e apercebendo-se das suas inquietudes técnicas e dos problemas atualmente em discussão nas diversas plataformas associativas e técnicas a nível mundial.

2. O EVOLUIR DOS TEMPOS

2.1. Enquadramento do capítulo

Este capítulo pretende dar um enquadramento histórico e futuro das obras subterrâneas, bem como apresentar os principais métodos de escavação subterrânea.

2.2. O antes, o agora e o futuro

2.2.1. O antes

Há vários milénios que se executam obras subterrâneas por todo o mundo, com o objetivo de superar obstáculos, sejam eles naturais, como maciços montanhosos ou cursos de água, ou humanos, como é o caso das zonas urbanas. Os fins para que são usadas variam e incluem, entre outros, a habitação, o abastecimento de água ou mesmo o refúgio.

Descobertas arqueológicas indicam que o homem tem trabalhado em túneis desde a idade da pedra: nessa altura, usavam chifres de veado como ferramenta para a escavação [35]. As primeiras obras subterrâneas surgiram, portanto, ainda na época pré-histórica, quando o homem sentiu necessidade de alargar cavernas naturais para melhor servirem de habitação. Como se torna aparente olhando para trás, as utilizações dadas aos túneis evoluíram, passando estes a servir não só para habitação, mas também como proteção contra ataques de animais, incêndios ou intempéries. Mais tarde, também foram construídos túneis para irrigação agrícola e abastecimento de água às cidades: os antigos Gregos e Romanos construíram túneis para fazer aquedutos [36], sendo os vestígios dos mesmos ainda visíveis atualmente (realce-se que não é raro, em obras subterrâneas - e o *Crossrail* é uma prova viva disso-encontrar vestígios arqueológicos na zona em escavação). Entre 2180 a.C. e 2160 a.C. [36], os Babilónios abrem um túnel sob o Rio Eufrates para trânsito pedonal [37]. Sabemos também que os antigos egípcios construíam túneis para aceder aos túmulos [37]. Os Egípcios, por sua vez, construíram muitos túneis para aceder às sepulturas [36]. Para além destes fins, também se realizavam escavações para efeitos de mineração. Os restos da mina de sal de Hallstatt, na Áustria, são um dos mais antigos testemunhos disso. Nessa altura, usavam-se picaretas com punhos de madeira como ferramenta [35]. Mais um bom exemplo dos túneis construídos nessa altura é o túnel de Siloam, para transporte de água, do século VII a.C., por baixo da cidade de David (Jerusalém). Ou podemos falar do túnel de água na ilha de Samos (em calcário, com 1036m de comprimento e secção transversal de cerca de 6m²), já no século VI a.C [36]. Torna-se, portanto, bem evidente que o uso do subterrâneo foi evoluindo ao longo dos séculos, sendo ainda para fins militares e religiosos.

Como marcos importantes da exploração do subterrâneo temos, no século XVII, a inauguração do túnel do *Canal du Midi* (1666-1681 [36]), em França [38], com projeto de Pierre-Paul Riquel. Situado entre o Mar Mediterrâneo e o Oceano Atlântico, para transportar mercadorias evitando a navegação em águas abertas no

Estreito de Gibraltar e no contorno da Península Ibérica, foi construído com recurso a pólvora introduzida em orifícios feitos por brocas.

O ano de 1777 viu nascer um dos primeiros túneis de longo comprimento, na Grã-Bretanha [36]. Tinha 3,2km e fazia parte do Canal Grand Trunk.

O túnel Tronquoy do Canal de S. Quintino (Figura 8), mandado construir por Napoleão em 1803 e terminado em 1810 [36], é frequentemente distinguido como marcando o nascimento da Engenharia de Túneis [39].

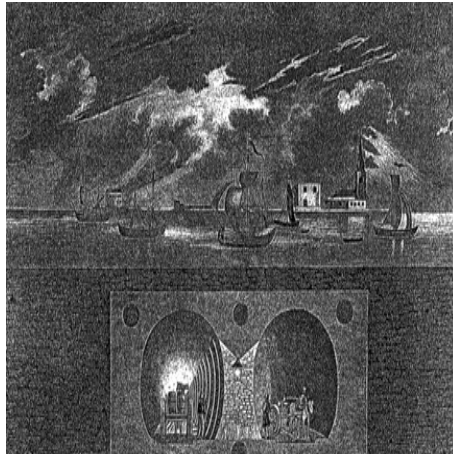


Fig.8-Esboço do Túnel de Tronquoy [37]

De facto, este túnel, com 1,1km de comprimento, distingue-se pela sua largura de 8m [36] e pelo facto de atravessar areia e rocha colapsável, com um arco construído da base para o topo, e com escavação das zonas centrais da rocha após construção do mesmo (Figura 9), que assim servia também de proteção aos trabalhadores [37].

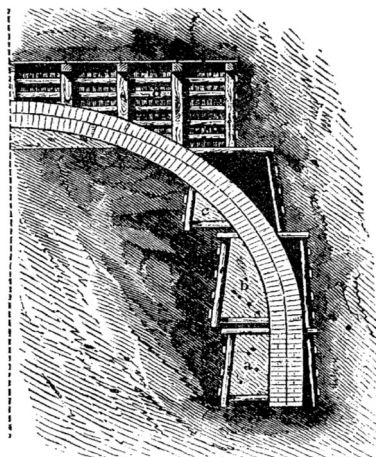


Fig.9-Aspeto do arco [39]

No início do século XIX, a construção de túneis recorria a suportes temporários de madeira, sendo que Marc Brunel, idealiza, em 1818, um escudo circular para escavação sequencial [40] (Figura 10).

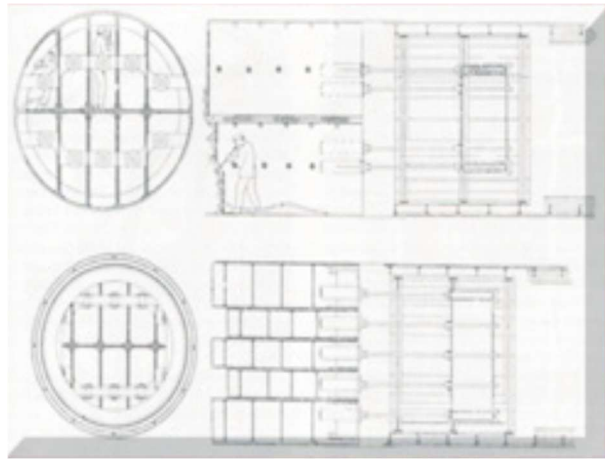


Fig.10-Escudo circular de Brunel [40]

A construção do primeiro túnel subaquático inicia-se em 1825 (até 1843), sob o rio Tamisa [38] (Túnel de Rotherhithe). Brunel, que o dirigiu, inspirou-se na natureza (após observar um molusco a cavar madeira, atirando-a para trás e revestindo a parte escavada com um líquido) para desenhar um escudo retangular que cumprisse os requisitos do projeto e também protegesse os trabalhadores [37]. Assim, desenhou uma máquina de escavação, a partir do escudo que tinha idealizado anteriormente, com 11m de largura, 6m de altura (Figura 11) para escavar 396 metros de comprimento, contribuindo deste modo para a união das duas margens [41].

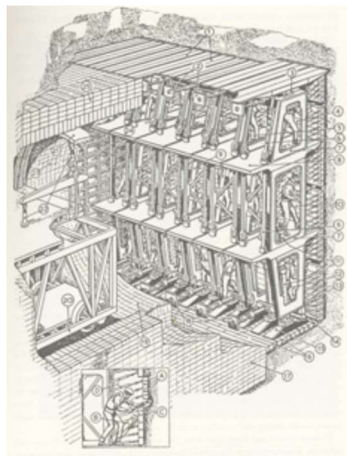


Fig.11-Escudo retangular de Brunel [40]

Muitos dos princípios que Brunel usou na altura ainda estão hoje em vigor [40].

No entanto, esta experiência terá sido tão onerosa, em termos de tempo e dinheiro, que não se voltou a falar em escudo até cerca de 1860 (é também nesta altura que Lord Cochrane sugere o uso de ar comprimido para efeitos de estabilização da face de escavação [40]). Entretanto, em 1845, constrói-se a primeira máquina para escavação em rocha, idealizada por Henri-Joseph Maus. A revolução de 1848 afeta o financiamento do túnel, que só é terminado 10 anos mais tarde. Nos EUA, em 1853, é usada a primeira tuneladora, inventada por Charles Wilson, no Túnel de Hoosac [38]. Neste túnel, as questões associadas a ventilação foram alvo de bastantes avanços técnicos. Estava aberta a porta à automatização da escavação e, entre 1848 e 1931, foram projetadas e patenteadas cerca de 100 máquinas para escavação de rocha e terrenos compactos [37].

O advento da ferrovia, entre 1830 e 1850, deu um enorme impulso, senão o maior, à tunelagem, dada a necessidade de recorrer a túneis para lidar com acidentes topográficos (pois é impossível usar curvaturas ou inclinações relevantes nas linhas e seria mais caro aumentar as mesmas para evitar os obstáculos naturais). A abertura de túneis para uso metropolitano inicia-se em Londres, em 1863, mas outras grandes cidades se seguiriam. O escudo de geometria circular (forma que hoje toma), patenteado por P.W. Barlow, foi utilizado pela primeira vez em 1869, para a construção do segundo túnel sob o rio Tamisa (*Tower Hill Tunnel*) [37].

Já no continente europeu, o primeiro grande obstáculo ultrapassado por uma extensa rede ferroviária foram os Alpes (até lá inconquistáveis), atravessados pela primeira vez em 1871, pelo túnel ferroviário de Moncenisio (ou Frejus), cuja construção começara em 1857 [38]. O engenheiro desta obra, Germain Sommeiller, introduziu muitas técnicas pioneiras, uma das quais foi a furação sistemática por ar comprimido [40] (Figura 12).

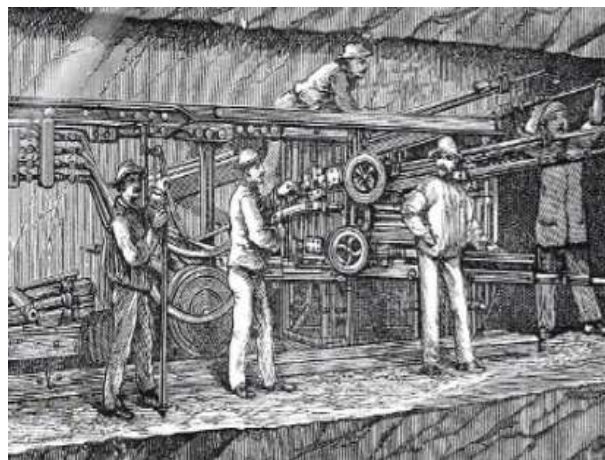


Fig.12-Máquina de furação Sommeiller [35]

Embora muitas das suas técnicas fossem positivas, nem todas funcionaram. Exemplo disso foi a tentativa de aproveitamento do ar direcionado para as brocas de ar (que permitia um avanço de 5m por dia), após a sua insuflação, como apoio à respiração dos trabalhadores [35].

Importante também para a evolução da técnica em escavação subterrânea foi a introdução, em 1863, por Nobel, da nitroglicerina [40]. 1869 assiste ao aparecimento de uma nova máquina, idealizada por Brunton [40] (Figura 13).

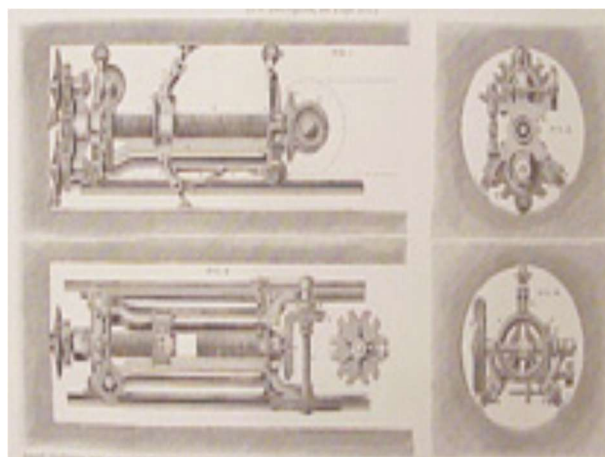


Fig.13-Máquina de Brunton [40]

Em 1879, realiza-se a primeira experiência de tunelamento em ar comprimido sob o Rio Hudson e aparece o primeiro equipamento para furação (Figura 14), idealizado por Couch [40].

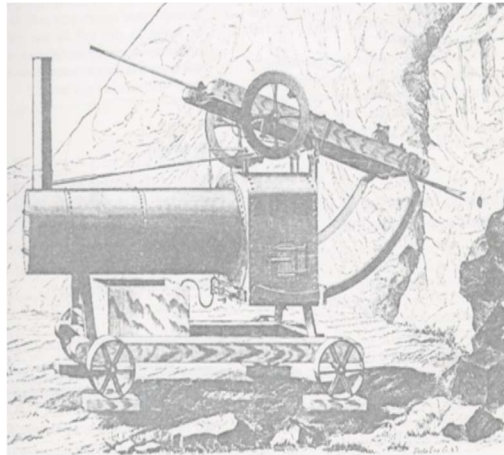


Fig.14-Equipamento de furação [40]

Em 1856, Penrice regista a primeira patente para uma tuneladora de rocha, seguida por outra em 1876 [40] (Figura 15).

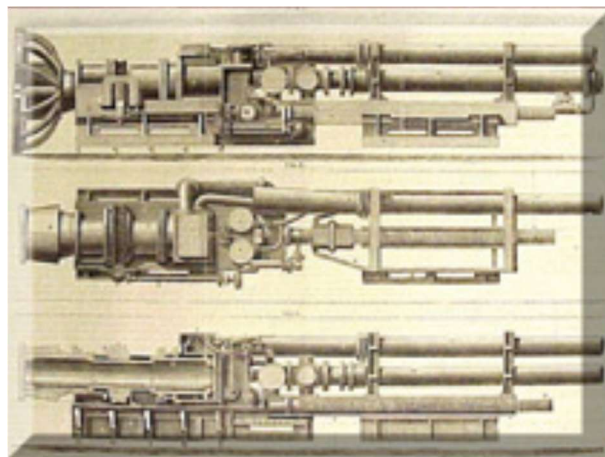


Fig.15-Tuneladora - Penrice [40]

Seguiram-se os túneis de S. Gotardo (1872-1881, na Suíça) e de Arlberg (1880-1884, na Áustria). Até esta data, o suporte de maciço era realizado por madeira, tendo o aço começado a ser utilizado em 1872 [41], dada a sua facilidade de instalação e resistência (superior à da madeira).

Em 1874, Greathead patenteia a precursora de tuneladora com câmara para injeção de lamas [40] (Figura 16).

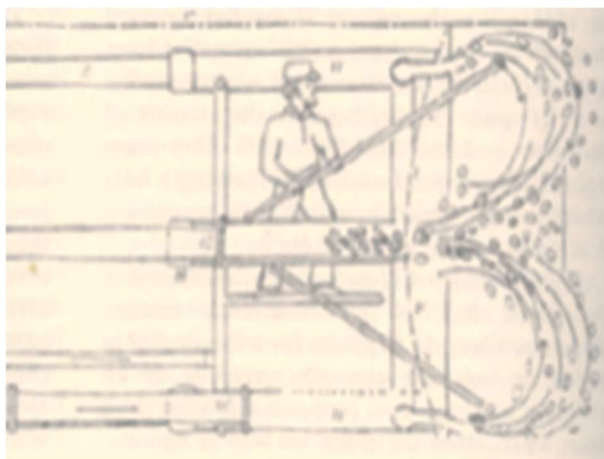


Fig.16-Tuneladora - Greathead [40]

Ele também idealiza o primeiro eretor de segmentos de revestimento final [40] (Figura 17).

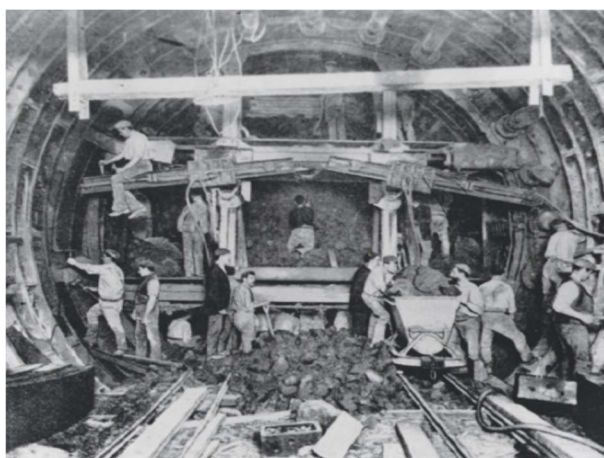


Fig.17- Eretor de segmentos [40]

Em 1880, é patenteada uma nova máquina de tunelamento, desta vez por Beaumont, tendo sido considerada como o primeiro caso de sucesso de tunelamento em solos brandos, no túnel de Mersey [40] (Figura 18).

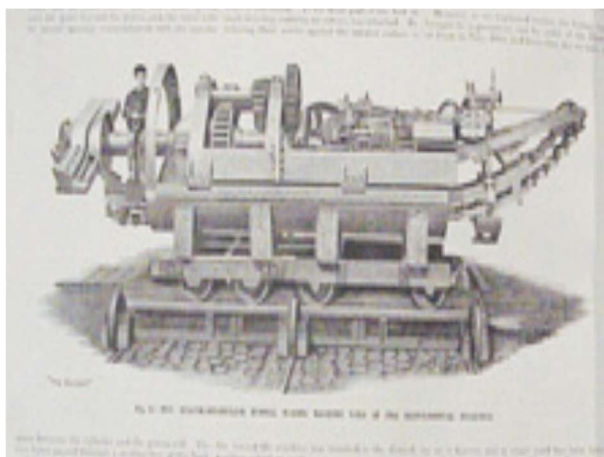


Fig.18-Tuneladora [40]

Em 1901, começa a ser utilizado um novo tipo de tuneladoras, construídas por Markhams, no metro de Londres (avanço de 55m por semana) [40] (Figura 19).



Fig.19-Tuneladora - Markhams [40]

A Figura 20 detalha a estrutura da cabeça de corte desta tuneladora.

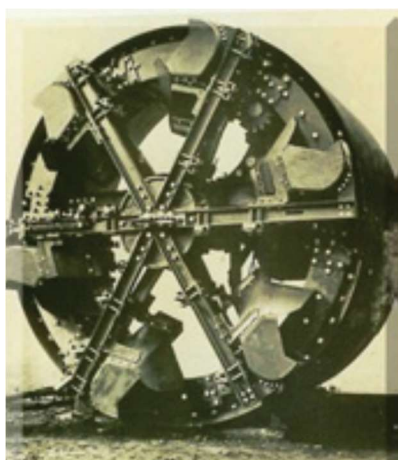


Fig.20-Cabeça de corte[40]

Em 1908, Proctor introduz uma nova máquina de perfuração, com 15 instrumentos de percussão na cabeça ativados por ar comprimido [40] (Figura 21).

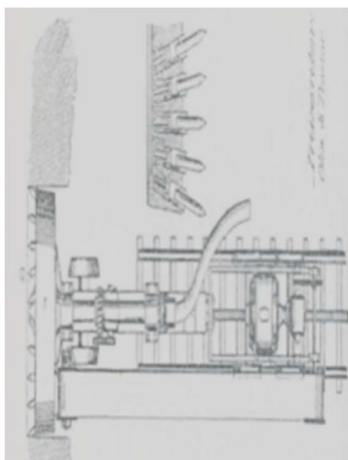


Fig.21-Instrumentos de furação [40]

Neste ano de 1908 encontrava-se também em construção o Túnel de Lotschberg, com 14,6km, um marco, também ele, na história da tunelagem (Figura 22).

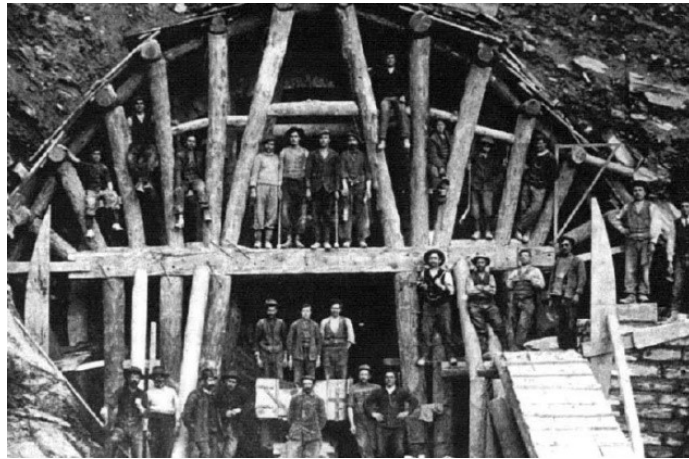


Fig.22-Emboquilhamento Sul de Túnel de Lotschberg [42]

A era do aproveitamento de água, que debuta no início do século XX, leva à construção de estruturas subterrâneas, nomeadamente túneis sob pressão e centrais. A Figura 23, abaixo, ilustra um exemplo da tuneladora utilizada na altura.



Fig.23-Whitaker Machine (1922) [43]

Ladislau Von Rabcewicz introduz o conceito de New Austrian Tunnelling Method (NATM), tendo-o apresentado posteriormente [22], numa publicação no XIII Colóquio Austríaco de Geomecânica, que ganha reconhecimento internacional em 1964. De realçar que a presente investigação não pretende discutir o conceito de NATM, pelo que se substituirá este por “MEC”, englobando assim os métodos convencionais que utilizam explosivos, roçadoras ou outros meios mecânicos de ataque pontual.

Nos inícios da década de 1950, época em que a furação era realizada manualmente [35] com apoio de tripés (o chamado “Método Sueco” [40] (Figura 24)), surge uma nova geração de tuneladoras nos EUA [44].



Fig.24-Método Sueco de furação [35]

A empresa *James S. Robbins and Associates* projetou e construiu a “Mittry Mole”, a primeira tuneladora com discos de corte [35], tendo a máquina o diâmetro de 7,8m e a potência de 149 kW, e conseguindo escavar dez vezes mais rapidamente do que qualquer outro método na altura. Estava aberto o caminho para as modernas tuneladoras para rocha. Naturalmente, com o passar dos tempos, os desafios crescentes a que a Engenharia tem de fazer face levam a um aumento da sua capacidade, assistindo-se assim a um emprego constante de novas abordagens. Foi esta mesma evolução que revelou a necessidade de lidar com questões anteriormente descuradas, como os perigos do uso de produtos químicos.

A evolução dos tempos pode ser exemplificada referindo que, se em 1960 e 70 a pergunta era “O túnel pode ser escavado com uma tuneladora?”, atualmente é “Podemos dar-nos ao luxo de não o fazer com tuneladoras?” [44].

Tal como aconteceu com o advento dos caminhos-de-ferro, a proliferação de novas vias rodoviárias na Europa, a partir dos anos 60, dá nova vida à construção de túneis, levando à exploração de métodos de prospeção, caracterização de maciços e escavação inovadores e crescentemente fiáveis, promovendo novamente a evolução da indústria. Exemplo das crescentes conquistas da Engenharia é o Túnel Ferroviário Submarino da Mancha, entre França e Inglaterra, inaugurado em 1994, com dois túneis ferroviários gémeos e um de serviço, de 50,5km de comprimento. Ou o novo Túnel de S. Gotardo, com 57km de extensão, onde foram quebradas barreiras técnicas, sendo este o mais longo túnel ferroviário existente à data.

Concentrando-nos mais concretamente sobre a evolução da tunelagem em Portugal, podemos referir que o grande advento do uso de túneis está relacionado com a exploração de minérios, tendo sido iniciada a exploração do carvão e antracite nas Minas de São Pedro da Cova em 1801. À época, estas minas fizeram da localidade um centro industrial de grande importância. Em 1864, assiste-se à inauguração do Túnel Ferroviário de Chão de Maçãs. Já nos anos 50-60, assistiu-se à construção dos aproveitamentos do Douro Internacional, Picote, Miranda e Bemposta e Alto Lindoso. 1955 marca o início das obras do Metropolitano de Lisboa, tendo o primeiro troço sido inaugurado em 1959. A inauguração da primeira central hidroelétrica subterrânea (Salamonde) em Portugal deu-se em 1963, tendo sido seguida do escalão de Caniçada. Quanto à cidade do

Porto, vê a sua primeira linha da rede de metro ligeiro nascer em 2003. Por seu lado, e fruto do seu relevo acidentado, a ilha da Madeira já assistiu à construção de mais de 100 túneis.

2.2.2. O agora

Vários autores referem o aumento contínuo da utilização do espaço subterrâneo e o papel cada vez mais central no desenvolvimento das cidades e zonas urbanas que este tem vindo a representar, estando atualmente mais disponível do que nunca. Várias urbes o aproveitam para estruturas imprescindíveis ao bom funcionamento da cidade, irrevogavelmente integradas no dia-a-dia dos seus habitantes e utilizadores [45]. Na verdade, cidades como Londres ou Nova Iorque, entre outras, não seriam capazes de funcionar atualmente se não usufruíssem de infraestruturas subterrâneas [46]. Efetivamente, se há poucos anos as obras subterrâneas eram constituídas predominantemente por túneis, atualmente apresentam uma crescente complexidade geométrica e prática, com cada vez mais utilizações a exigirem uma profunda articulação com as restantes infraestruturas da cidade, aumentando a sua sofisticação e interconexão [4]. Embora seja difícil referir números exatos, o volume total anual mundial de escavação subterrânea está estimado em cerca de 300 milhões de m³: 100 milhões em rocha e 200 milhões em material não rochoso [35].

O aumento da utilização do subterrâneo prende-se com vários fatores, incluindo a elevada densidade populacional das zonas urbanas.

Claro que há sempre a possibilidade de construir em altura, como se vem fazendo há décadas, mas os custos da construção a alturas muito elevadas são tais que impossibilitam muitas vezes esta alternativa [47]. Acresce que as zonas urbanas apresentam, além da mencionada sobrepovoação, vários outros tipos de condicionantes, como lacunas ao nível de infraestruturas de tráfego. Uma das maiores dificuldades, talvez a mais visível e amplamente reconhecida, é a atual congestão de tráfego nas cidades) e dificuldades de distribuição de recursos, bens e serviços, mas também a necessidade de proteção contra desastres naturais e a falta de espaço físico para trabalho e lazer. A estes factores, que influenciam o uso do subterrâneo, juntam-se ainda as crescentes restrições de construção ao nível do solo, num esforço de preservação de património e infraestruturas antigas.

Certo é que a construção em subterrâneo está a aumentar a nível mundial [3] [3]e que o desenvolvimento de infraestruturas subterrâneas está relacionado com o aumento populacional. Cidades como Estocolmo, Tóquio, Paris e outras grandes cidades, apostam, portanto, neste tipo de obra, tão importante para o seu desenvolvimento económico [46]. Saliente-se que os moradores de cidades passam grande parte do tempo das suas vidas dentro de espaços construídos (considerando a casa, o trabalho e os tempos livres), o que realça a importância deste tema.

Para se perceber melhor a potencialidade deste tipo de obras, detalhemos as várias vantagens já identificadas no uso de obras subterrâneas. Irá dividir-se a análise por três fatores [45]: 1) mobilidade, 2) qualidade de vida e 3) sustentabilidade económica e social.

1) Mobilidade

- Melhoram as acessibilidades;
- Garantem maior mobilidade do trânsito;
- Reduzem a congestão rodoviária e diminuem os tempos de viagem;
- Minimizam o risco de acidentes rodoviários.

2) Qualidade de vida

- Aumentam o nível de qualidade de vida;
- Contribuem para cidades mais passíveis de serem usufruídas [46];
- Permitem maior conforto das populações em áreas de elevada densidade demográfica [48];
- Possibilitam a disponibilização de infraestruturas para todos;
- Libertam área à superfície, que pode ser usada para criar espaços verdes ou outros usos [46];
- Contribuem para a redução do impacto das alterações climáticas [46].

3) Sustentabilidade económica e social

- As estruturas de suporte de que necessitam, face às solicitações do maciço ou das próprias obras, são menos dispendiosas, e as obras estão inseridas num meio de isolamento, em especial relativamente a ações de alta e baixa temperatura, a vibrações e a ruídos [48];
- Os custos de manutenção destas obras são inferiores aos das obras à superfície, pois usufruem de temperaturas mais estáveis e estão protegidas das influências externas [49];
- As propriedades vizinhas das construções subterrâneas têm tendência a valorizar, devido aos efeitos da libertação da superfície nas acessibilidades e na qualidade ambiental da região, pelo que podem ser vistas como uma mais-valia para o setor imobiliário e para a promoção dos espaços públicos [46]. Veja-se o exemplo do *Crossrail* e as vantagens que trouxe para a zona sudeste (e também outras) de Londres. Os benefícios potenciais de não ocupar 1km² à superfície com obras, que passam para o subterrâneo, podem chegar a valores avultadíssimos [49];
- Libertando o espaço à superfície, os centros históricos ficam preservados e o terreno fica livre para desenvolvimento natural [49];
- Promovem a criação de emprego e a melhoria de competências dos trabalhadores, no mínimo durante a fase de construção;
- Diminuem as assimetrias regionais, contribuindo para o combate ao isolamento das populações;
- Permitem o desenvolvimento dos meios urbanos;
- Representam a possibilidade de sustentar um aumento de população sem necessidade de alargar fronteiras urbanas [49];
- As cidades tornam-se mais inclusivas e resilientes [46];
- Permitem garantir um grau superior de proteção das infraestruturas perante potenciais atentados terroristas [4];

- Oferecem um elevado grau de proteção contra catástrofes e efeitos naturais derivados do clima, como inundações, chuvas fortes ou mesmo erosão [46];
- Os fenómenos de vento extremo são mais facilmente suportados, devido à ausência de transmissão de cargas às estruturas enterradas [47];
- A resistência destas obras aos sismos é superior à das infraestruturas à superfície [46], apresentando relativamente poucos danos mesmo em terremotos mais fortes [49]. Por exemplo, em S. Francisco, no seguimento do sismo de 1989, várias zonas da cidade permaneceram inviabilizadas durante meses, devido às consequências que o mesmo teve nas estruturas à superfície. No entanto, o sistema de tráfego subterrâneo foi reativado meio dia depois do sismo, após as devidas inspeções, claro.

Naturalmente, embora a literatura especializada tenha tendência a concentrar-se nas vantagens destas obras, também é possível identificar algumas desvantagens.

- Pela própria natureza da envolvente, tratando-se nomeadamente de um espaço confinado, é necessário atender à possibilidade de problemas vários, designadamente a falta de acesso fácil a ar puro [49], na eventualidade de incêndios, explosões ou libertações de produtos químicos nocivos;
- Também decorrente da envolvente, é sempre necessário implementar sistemas de iluminação artificial e ventilação, o que torna a fase de exploração destas obras mais onerosa [49].

A utilização do espaço subterrâneo contribui para o desenvolvimento urbano sustentável, útil em várias áreas [49], especialmente para infraestruturas que, pela necessidade de fiabilidade, devem ser instaladas no subterrâneo [50]. Com efeito, são várias as infraestruturas passíveis de inclusão no subterrâneo, desde redes de água, saneamento ou de abastecimento de energia, passando pelas infraestruturas telefónicas e as vias de comunicação (como os canais de navegação e rodovias e/ou ferrovias), sem esquecer as instalações industriais, comerciais e de defesa, ou as estruturas de produção de energia (como centrais nucleares, hídricas e térmicas) ou de exploração de minério, e até instalações para armazenamento de produtos e depósitos de resíduos [48]. Nos tipos de obras subterrâneas que citamos, estão incluídas novas construções ou a mera ampliação/reformulação das infraestruturas existentes. Um ponto muito positivo é o facto de túneis construídos para um determinado tipo de infraestruturas poderem ser utilizados para albergar outro tipo de infraestruturas, numa ótica de multiuso [4].

A lista abaixo ilustra alguns exemplos de infraestruturas subterrâneas [45]:

Abastecimento e saneamento de água – Têm-se construído redes para abastecer a cidade com água fresca e fazer a drenagem dos seus esgotos. Também são usadas para armazenamento temporário de águas pluviais, como meio de minimizar os efeitos de cheias, como nos casos de Buenos Aires ou Tóquio. Por exemplo, o *Thames Tideway Tunnel*, obra atualmente em fase de construção, tem como objetivo impedir que, nos casos em que as ETAR existentes ficam demasiado cheias, as águas residuais sejam despejadas no Rio Tamisa sem tratamento. Outro exemplo de uma obra pensada para estes casos é o *SmartTunnel*, em Kuala Lumpur, sendo que a ideia por detrás deste túnel é ainda mais avançada, já que o túnel funciona como túnel rodoviário durante

o tempo seco. Só fica fechado ao trânsito nas épocas de monção e inundações, quando é usado para desviar as águas.

Infraestruturas elétricas – Uma vez que o campo magnético criado por cabos elétricos aéreos pode ser prejudicial à saúde, e que a presença das infraestruturas elétricas à superfície obriga a criar zonas de serventia que impedem a utilização dos terrenos, o espaço subterrâneo apresenta-se como uma importante alternativa no posicionamento de sistemas energéticos [51].

Transporte de bens ou lixos por sistema de vácuo – A implementação de sistemas de vácuo (presente em cidades como Leon ou Saragoça) para lidar com o transporte de bens ou lixo diminui a necessidade e presença de contentores à superfície, reduzindo também a circulação de camiões e camiões de lixo [4].

Ligações ferro- e rodoviárias – O tráfego urbano intenso representa um problema crescente para as cidades. No entanto, é atualmente virtualmente impossível acomodar novas infraestruturas à superfície nas zonas urbanizadas, para promover um bom escoamento do trânsito, sem provocar a deterioração inaceitável do meio ambiente [48]. Em subterrâneo, o potencial aumento da poluição aérea, por exemplo, é compensado pelo sistema de ventilação existente. É possível estabelecer ligações subterrâneas para circunvalação de grandes centros urbanos ou para ligar as várias cidades por estrada ou caminho-de-ferro, simples ou de alta velocidade. De salientar que, no caso das ligações ferroviárias, a construção de túneis é frequente e tradicionalmente usada para ultrapassar obstáculos topográficos, uma vez que é impossível lidar com inclinações relevantes da linha, designadamente no caso de linhas de Alta Velocidade.

Sistemas de metropolitano – A evolução do tráfego urbano exigiu a penetração das vias férreas nos meios urbanos. A tendência foi aproveitar o espaço subterrâneo para estas ligações, o que deu origem aos sistemas de metropolitano [48]. A inauguração oficial das primeiras linhas dos metropolitano mais antigos do mundo (Londres, Paris e Nova Iorque) remonta já à segunda metade do séc. XIX e inícios do séc. XX. Assim sendo, as suas redes, centenárias, são bastante extensas e complexas, encontrando-se até, em alguns casos, em fase de ampliação, como em Londres ou Paris. Já noutras zonas do mundo, cidades como Quito, Bogotá e Lima, por exemplo, estão agora na fase inicial de introdução deste tipo de ligação. O interesse das cidades por este tipo de transporte justifica-se, entre outros motivos, pela redução do fluxo automóvel alcançada nas horas de ponta, que permite poupanças elevadas em número de horas de trabalho por trabalhador e por ano, pois evita as paragens nas filas de trânsito.

Zonas comerciais, habitacionais, de abrigo, de estacionamento e pedonais, e estações de tratamento de água – Estes diversos usos dados ao espaço subterrâneo mostram bem a evolução que este tem sentido. De facto, esta nova utilização do subterrâneo pode ser considerada um fenómeno emergente em diversas cidades do mundo [49], assumindo diversas formas. Instalações como centros comerciais, centros desportivos, piscinas, bibliotecas, galerias de arte, centros de dados e arquivos têm vindo a passar para subterrâneo. Também têm sido crescentemente enterradas estações de tratamento de águas e armazéns [46]. Até se têm conjugado vantagens: por exemplo, no caso dos centros de dados, o calor gerado por estes pode ser

aproveitado para aquecimento de casas, como acontece em Helsínquia [46]. Quanto às estações de tratamento, há uma vantagem suplementar clara em termos de diminuição dos cheiros à superfície, sendo exemplo disso as estruturas em Estocolmo, Roterdão ou Guangzhou. O espaço subterrâneo tem também atraído interesse para fins de lazer e entretenimento, uma vez que estão a ser instalados bares e até restaurantes em abrigos desativados – sendo a solução ideal para lidar com os limites legais de ruído nas zonas habitadas [46].

Aproveitamentos hidroelétricos – Vários dos elementos constituintes das instalações de aproveitamento hidroelétrico podem ser instalados no subterrâneo, a começar logo na central de geração propriamente dita e a terminar em túneis com diferentes fins: de acesso a central, de restituição, de descarga ou para chaminés de equilíbrio. Estudos referem que há menor impacto ambiental, no caso das centrais em barragens, se estas forem subterrâneas [51].

Armazenamento e sistemas de transporte de hidrocarbonetos – Com as necessidades crescentes de recursos como o gás e o petróleo, aumenta também a necessidade de os ir buscar a grandes profundidades e em lugares cada vez mais inacessíveis [48], tendo de se encontrar alternativas para o seu armazenamento em lugares mais acessíveis. Utilizar o subterrâneo para armazenamento destes recursos surge como uma alternativa a tanques ou depósitos de superfície. Outra utilização do subterrâneo prende-se com o transporte de hidrocarbonetos. Os chamados “corredores de energia” são cruciais para a nossa sociedade e fundamentais para a sustentabilidade das cidades. Numa época como aquela em que vivemos, com a diminuição da produção de gás natural na Europa e a conseqüente maior dependência da importação de hidrocarbonetos, as tubagens enterradas que os transportam entre o nordeste da Sibéria e a Europa correspondem a um corredor fulcral para a evolução da Europa [51].

Armazenamento de resíduos nucleares – Com a crescente capacidade de produção de energia elétrica por centrais nucleares, surge a conseqüente crescente produção de resíduos, nomeadamente de média radioatividade [48]. Socialmente, a aceitação de resíduos deste tipo por parte das populações é muito reduzida. Tal facto levou à implementação preferencial da solução enterrada, já identificada como solução de sucesso, por permitir, por um lado, proteger o meio ambiente superficial e os humanos do contacto com estes resíduos e, por outro, por envolver meios geológicos com períodos de estabilidade superiores ao período do ciclo radioativo nos próprios resíduos [48]. Além disso, a resolução de problemas em caso de fuga é mais simples no subterrâneo do que à superfície [35]. Em contrapartida, estas soluções só podem ser aplicadas em áreas sem atividade vulcânica ou sísmica, e em locais de rochas não porosas, para combater a possibilidade de ingresso de água.

Aquecimento urbano e armazenamento de energia – A utilização do subterrâneo para distribuição de calor a habitações de zonas urbanas, através de condutas que transportam o calor produzido numa central para as casas, é algo comum no Norte e Leste da Europa há já 150 anos. Após a sua produção numa central, o calor é distribuído para radiadores ou aquecimento de água sanitária, por exemplo, estimando-se que 60 milhões de habitantes de cidades europeias sejam abastecidos por esta via [51]. Já no que se refere ao armazenamento

de energia, a década de 1970 viu surgir os primeiros sistemas “*Underground Thermal Energy Storage Systems*”, que conservavam energia, usando poços, tanques, cavernas em rocha, aquíferos e tubagens. Na verdade, esta solução já se considera uma das mais sustentáveis e amigas do ambiente, pois permite poupar bastante energia, reduzir o tamanho das unidades de distribuição e baixar o custo dos sistemas de armazenamento e distribuição de energia [51].

Conforme se vê, e face à enorme variedade de possíveis utilizações do subterrâneo, as previsões apontam para um aumento do espaço subterrâneo, em termos de dimensões, profundidade e requisitos arquitetónicos [52], que irão lançar paulatinamente novos desafios à capacidade de projetar e construir. Se há algo que o passado nos ensina é a necessidade impreterível de fazer acompanhar o desenvolvimento subterrâneo de áreas urbanas e esta nova exploração do espaço subterrâneo por um correto planeamento, algo de que já se começou a falar em meados de século XX [53]. Efetivamente, a mudança de uma infraestrutura da superfície para o subterrâneo tem custos elevados e exige trabalhos complexos. Atualmente, a decisão de o fazer ou não é, frequentemente, tomada com base apenas nos custos de construção. Uma observação mais atenta revela, no entanto, que é necessário incluir nos critérios de decisão o impacto da escolha na valorização de terrenos, na qualidade de vida e na sustentabilidade a longo prazo, se se pretende obter uma avaliação e um planeamento mais corretos. É por esse motivo que se luta agora por um planeamento integrado, englobando a superfície e o espaço subterrâneo, e envolvendo todos os decisores (políticos, municipais, investidores ou privados) [4]. Esta abordagem irá permitir uma criação sustentável e racional dos novos espaços subterrâneos e uma articulação, integração e interdependência do funcionamento e construção dos serviços de infraestruturas [52]. Um exemplo de interdependência entre a superfície e o subterrâneo seria a construção de um metropolitano à superfície acompanhado por um parque de estacionamento subterrâneo [45].

2.2.3. O futuro

Atualmente, pode afirmar-se que estaremos no limiar de uma 3ª dimensão da cidade. Passando para subterrâneo tudo o que não tem obrigatoriamente de estar à superfície, será possível melhorar, no futuro, o conforto e a qualidade de vida das populações. Estará criado o caminho para a tão necessária sustentabilidade urbana [49], sendo que o espaço subterrâneo será mais um dos componentes do bom funcionamento da sociedade.

Antecipa-se então que as novas infraestruturas sejam postas em subterrâneo, devido à grande falta de espaço das nossas cidades [52]. No entanto, a evolução do espaço subterrâneo depende também de questões financeiras associadas com os custos de construção, operação e manutenção, e pode haver situações em que a utilização do subterrâneo seja impossível por motivos financeiros [54]; portanto, será sempre necessário fazer uma análise de custo-benefício.

Até 2050, a população mundial deverá aumentar de 7,0 mil milhões para 9,3 mil milhões de pessoas [35], sendo que se estima que a população a viver nas cidades passe de 3,6 mil milhões para 6,2 mil milhões de pessoas

[55], uma vez que tudo aponta para que, em 2050, 70% da população mundial viva em zonas urbanas [56]. Desde 2008 que metade da população do mundo vive em cidades [49], prevendo-se que a área urbana nos países desenvolvidos cresça de 300.000km² (ano de 2000) para 700.000km² no ano de 2030 [47]. Para fazer face a este aumento, os centros urbanos terão de se adaptar, para oferecer às populações as infraestruturas e condições de vida e mobilidade de que elas irão necessitar.

2.3. Os grandes grupos de métodos de escavação atuais

2.3.1. Introdução

Nos primórdios das escavações, o método de escavação convencional era o único. Com a mecanização dos últimos séculos, surgiram as tuneladoras, mas mantiveram-se sempre os métodos de escavação convencionais em funcionamento, e sempre em aperfeiçoamento.

Os métodos construtivos utilizados na escavação de obras subterrâneas dividem-se em dois grandes grupos: o método de escavação por tuneladora (MET) ou Tunnelling Boring Machine, e Métodos de Escavação Convencional (MEC), que incluem a escavação com recurso a explosivos ou meios mecânicos.

2.3.2. Método de Escavação Convencional (MEC)

Os Métodos de Escavação Convencional (que englobam o NATM, o método belga e outros similares) envolvem, na sua generalidade, as fases seguidamente descritas e que a Figura 25 procura ilustrar:

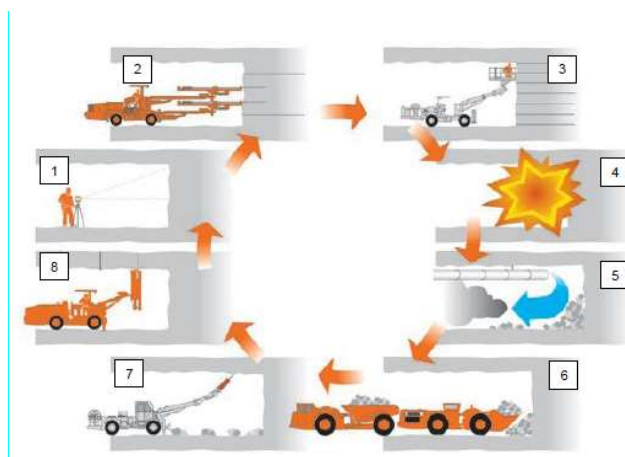


Fig.25-Faseamento de Método de Escavação Convencional com explosivos [14]

1 – Marcação topográfica de frente de escavação;

2, 3 e 4 – Escavação do maciço por meios mecânicos (balde, martelo pneumático ou roçadora) ou explosivos (neste caso, com furação através de “Jumbo”);

5 – Ventilação de galeria, de modo a poder retirar o ar contaminado da atmosfera após a escavação (nomeadamente no caso de a escavação ser realizada com recurso a explosivos) e garantir a substituição desse ar por ar puro, com os parâmetros mínimos de respirabilidade;

6 – Remoção de produtos de escavação para vazadouro, de modo a libertar espaço para que o saneamento e a projeção de betão possam ser iniciados;

7 – Saneamento, mecânico e manual, da escavação, de modo a retirar blocos ou fragmentos de maciço que estejam em posição instável e garantir que o maciço reúne condições de integridade para ser aplicada a primeira camada de betão projetado;

8 – Aplicação da primeira camada de betão projetado e dispositivos de estabilização. As deformações do maciço são minimizadas através da aplicação de uma primeira camada de betão, fina e flexível, projetado imediatamente após o avanço da escavação. Se necessário, são também aplicados dispositivos de estabilização: betão projetado, com possível adição de fibras metálicas, cambotas metálicas, pregagens e enfilagens, que permitam melhorar a resistência do maciço rochoso.

Durante a realização dos trabalhos, as potenciais deformações do maciço rochoso são minuciosamente monitorizadas [57] através de um sistema de instrumentação (inclinómetros, extensómetros, piezómetros, convergências) implantado no revestimento, no maciço e em furos de sondagem, que dita a necessidade de reforço ou a possibilidade de aligeiramento do suporte provisório.

Este método é particularmente adequado para solos difíceis ou na escavação de secções de formas irregulares ou galerias entre túneis paralelos.

2.3.3. Método de Escavação por Tuneladora (MET)

As tuneladoras caracterizam-se por serem máquinas de escavação de secção transversal circular para a realização de todo um conjunto de trabalhos de escavação, suporte e revestimento.

As tuneladoras são constituídas por diversos elementos:

1) Cabeça rotativa de forma circular para escavação - a cabeça está dotada de movimento giratório e é comandada por motores elétricos colocados na zona posterior da tuneladora, tendo sistemas eletromecânicos ou hidráulicos de variação de velocidade. Para a escavação, são utilizados discos de corte que fraturam o maciço em fragmentos através de força de compressão destrutiva. Os fragmentos de tamanho adequado para uma fácil remoção (resíduos de escavação) são retirados através de aberturas na cabeça de corte.

2) Sistema de propulsão e apoio, destinado a empurrar a cabeça giratória contra a frente e fazer progredir a máquina - constituído por placas que são empurradas pelos macacos hidráulicos contra as paredes do túnel ou contra as aduelas pré-fabricadas já instaladas (ao conjunto da placa com o macaco hidráulico chama-se “gripper”) (Figura 26).



Fig.26-Grippers pressionados contra as aduelas [58]

Os *grippers* equilibram também os momentos de torção, para evitar a rotação do corpo da máquina. Existem também outros macacos que, apoiando-se sobre a estrutura travada, empurram a cabeça de escavação.

3) Sistema de desobstrução, para libertar a frente de detritos e enviá-los para os meios de transporte associados à tuneladora - constituído por um conjunto de pás, dispostas nas proximidades da cabeça giratória, destinadas a remover o produto de escavação da frente, e por um transportador, que recebe os detritos provenientes das pás de carregamento e, atravessando o corpo da máquina, os lança à retaguarda sobre um meio que os transporta para o exterior (geralmente correias transportadoras).

4) Corpo central e traseiro: esta parte da tuneladora aloja os motores e todas as infraestruturas elétricas, hidráulicas e mecânicas de apoio à escavação.

De salientar que as tuneladoras têm a particularidade de poderem ser recondiçionadas de projeto para projeto, evitando assim custos decorrentes da compra de tuneladoras novas.

Este método é adequado para diversos tipos de terreno, desde que homogêneo, desde rochas duras até terrenos mais fracos, e para situações em que existe reduzido recobrimento e proximidade de infraestruturas, sendo uma técnica particularmente apta para a realização de túneis em meio urbano.

Existem tuneladoras de diversos tipos. Para solos rochosos, podem ser utilizadas tuneladoras que se subdividem nos seguintes grandes grupos:

- Sem escudo (Figura 27) – utilizadas para maciços rochosos compactos. Caracterizadas por não terem um escudo de proteção completo da máquina. À medida que a cabeça de corte gira, os apoios radiais, que vão buscar a sua reação ao maciço, estão ligados a macacos hidráulicos que empurram os discos de corte contra a face do túnel, provocando a fracturação da rocha. Depois da passagem da máquina, se for necessário, realiza-se a estabilização com pregagens, aduelas, betão projetado, e outros sistemas tradicionais. O material escavado é retirado através de tapete transportador.



Fig.27-Tuneladora sem escudo [59]

- Com escudo – utilizadas para túneis próximos da superfície, em maciços brandos e nos casos em que o maciço não é suficientemente rígido para suportar a transmissão de força de braços.

1) Escudo simples (Figura 28) – As funções do escudo são essencialmente de proteção dos trabalhadores e equipamentos contra a queda de blocos rochosos, até que o suporte do túnel possa ser seguramente instalado. O suporte do túnel é habitualmente feito com aduelas pré-fabricadas de betão armado. Sobre a proteção do escudo, a cabeça de corte é pressionada contra o maciço por um conjunto de cilindros hidráulicos, que se apoiam na parede lateral do último anel de segmentos de aduelas instaladas. A montagem das aduelas do revestimento é realizada em fase alternada à escavação, enquanto os macacos que impulsionam a tuneladora têm que estar retraídos para operar a sua instalação.

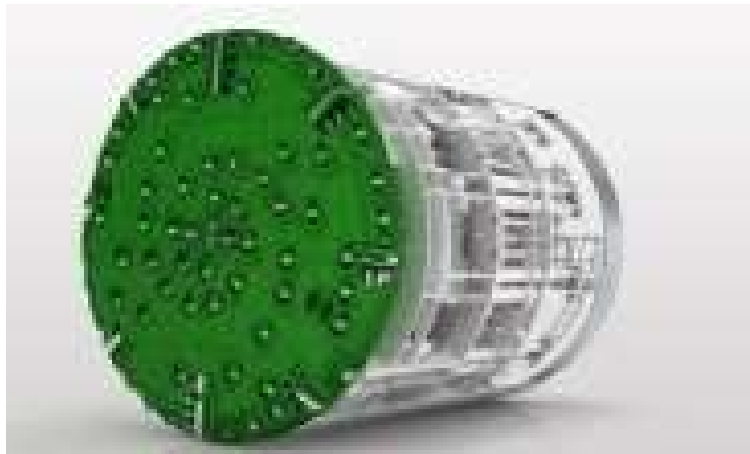


Fig.28-Escudo simples [59]

2) Escudo duplo (Figura 29) – para túneis com possibilidade de alteração de qualidade de maciço. O campo de aplicação destas tuneladoras é o mesmo das tuneladoras com escudo simples, com a vantagem de, com uma tuneladora deste tipo, ser possível não interromper o avanço na escavação para instalar o revestimento, dado que o escudo frontal extensível permite a movimentação independente da cabeça de corte, enquanto o corpo da tuneladora permanece imobilizado. Tem dois modos: em solo estável, em que se agarra às paredes para avançar, ou em terreno instável ou fraturado, em que se apoia nos segmentos já instalados. Se a qualidade do maciço for desfavorável, os dispositivos de estabilização podem ser instalados diretamente atrás da cabeça de

corte, num espaço bastante reduzido [60]. No escudo mais próximo da frente de escavação, é instalada a cabeça com a respetiva mecânica e os motores; no segundo escudo, encontram-se os *grippers*, que fixam a tuneladora à superfície lateral do túnel. Os dois escudos são telescópicos, de forma a permitir o avanço do conjunto constituído pela cabeça e pelo primeiro escudo enquanto o segundo se fixa ao túnel com os *grippers* e fornece a reação necessária ao avanço da cabeça. Quando o segundo escudo se encontra solidarizado com o túnel, é montada a aduela. Assim que a extensão dos macacos entre os dois escudos atinge o limite (estando já terminada a instalação da aduela), retiram-se os *grippers*, acionam-se os macacos traseiros e procede-se ao avanço do segundo escudo, que se aproxima do primeiro, enquanto este último continua a avançar juntamente com a cabeça de escavação.

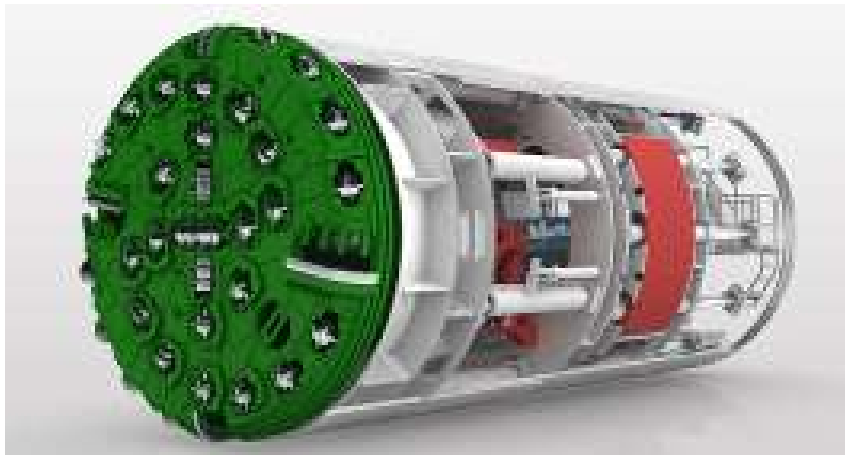


Fig.29-Escudo duplo [59]

Em solos brandos ou de menor estabilidade, podem ser utilizadas tuneladoras que proporcionam, durante a escavação e para garantir a estabilidade da face de escavação, uma contrapressão na face, através de material escavado, lamas bentoníticas ou espumas, fazendo com que a pressão seja igual à soma da pressão de água do maciço mais a pressão de terras. Isto quer dizer que a pressão da câmara deve ser tal que evite a afluência de água à câmara e que evite que a “massa” sólida exterior entre na câmara em maior quantidade do que a que é retirada. Indicam-se abaixo os referidos dois tipos de tuneladoras.

- *Slurry Shield* (Figura 30) – para solos grossos, geralmente instáveis e contendo água, com escavação sob pressão. A estabilidade da frente de escavação é garantida pela introdução de lamas bentoníticas em pressão sobre a frente de escavação. O *slurry* (lama) é bombeado para a câmara de escavação, que aplica pressão uniforme na frente. Quando é necessária a redução de densidade de lamas na câmara de escavação, são adicionadas espumas para condicionar as lamas. O terreno escavado, misturado com lamas bentoníticas, é extraído da frente de escavação para o exterior do túnel através de bombas, sendo posteriormente separado, de modo a que as lamas possam ser reutilizadas.

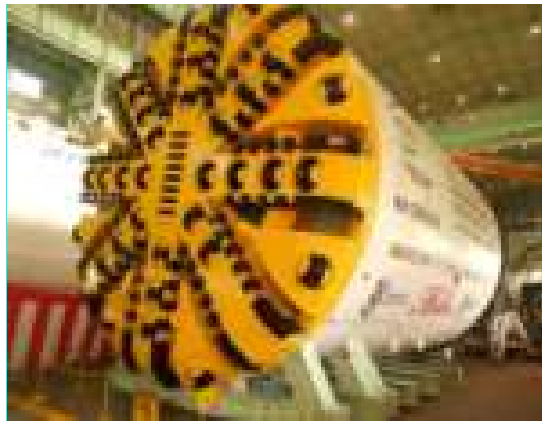


Fig.30-Slurry Shield [61]

- *Earth Pressure Balance Machines* (EPB) (Figura 31) – para solos finos e geralmente instáveis e solos com água. Estas tuneladoras, ilustradas abaixo, aproveitam o material para o passar a lamas e utilizar para estabilizar a frente de escavação, equilibrando os impulsos do terreno. Podem substituir as *Slurry Shield* quando não existe a possibilidade de encontrar água em pressão.

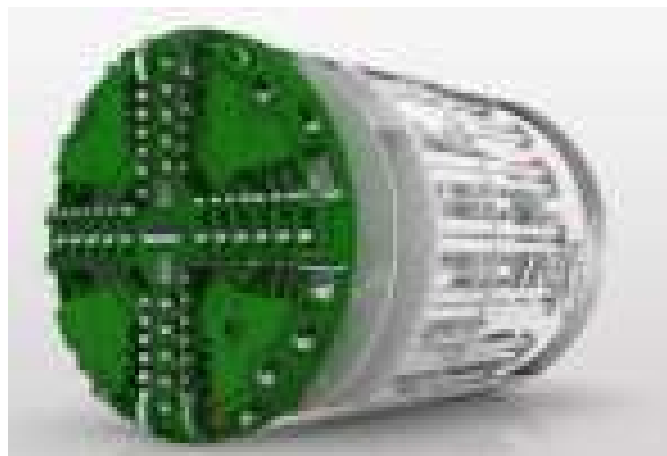


Fig.31-Earth Pressure Balance Machine [59]

- Máquinas híbridas (*Dual Mode* ou *Multi-mode*) – para situações em que seja necessário funcionar em diferentes modalidades operativas, p.ex. *Slurry Shield* ou EPB, e em que a tuneladora pode converter, sem vinda a superfície ou poço, o seu modo de operação, mediante ligeiras operações de reconfiguração, designadamente em termos de discos de corte e meios de remoção de escombros [35].

3. GESTÃO DE RISCOS

3.1. Enquadramento do capítulo

Este capítulo pretende descrever o processo de gestão de riscos, dar cumprimento ao objetivo nº 2 previsto no capítulo de introdução, “**Identificar os principais riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, associados à construção de obras subterrâneas**”, e dar resposta à questão de investigação nº 1: “**Quais os principais riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde ocupacional, presentes na construção de obras subterrâneas?**”

3.2. Histórico

O risco pode ser considerado o efeito de incertezas no alcance dos objetivos e pode ser caracterizado pela referência a potenciais eventos e consequências ou combinação destes. Os riscos, sendo ameaças ao cumprimento de objetivos pré-determinados, podem assumir carácter positivo ou negativo [62]. Neste estudo, em consonância com o que acontece na grande maioria dos estudos nesta área, apenas serão abordados os aspetos negativos do impacto dos mesmos.

Desde o início da humanidade que os humanos estudam o risco. “*Fear of harm ought to be proportional not merely to the gravity of the harm, but also to the probability of the event*” foi referido por Antoine Arnauld, em 1662, numa publicação intitulada “Logic, or the Art of Thinking” [63], e pode considerar-se como uma das primeiras abordagens científicas ao risco. Avaliar o risco foi sempre uma atividade intrínseca à existência do homem, tendo vindo a aperfeiçoar-se em resposta às necessidades sociais e técnicas. Diversos autores relacionam uma grande evolução na gestão de riscos com a época da Revolução Industrial. Já com o programa espacial americano e, posteriormente, com projetos hidroelétricos e nucleares, a gestão de riscos ganhou notoriedade mundial. Uma série de acidentes industriais de grande envergadura, nas décadas de 1970 e 1980, alertou para a necessidade de aperfeiçoar a gestão de riscos [64] e, consequentemente, implementar novas medidas preventivas, dando origem a diretivas, como a de Seveso. Atualmente, a gestão de riscos surge como um procedimento eficaz que complementa a gestão de quase todos os aspetos da vida humana [65].

No caso do setor da construção, o conhecimento das particularidades dos riscos associados às mais diversas tarefas tem também vindo a aumentar, facto que se pode aferir pelo gradual decréscimo no número de acidentes de trabalho e doenças profissionais em países industrializados. No entanto, o número ainda é relevante e urge ser reduzido. Mais especificamente em obras subterrâneas, atualmente verifica-se um aumento gradual do tipo de desafios a ultrapassar, tais como realizar obras em pressões de trabalho mais altas ou profundidades maiores, condicionalismos que obrigam a comunidade técnica e científica a acompanhar esta evolução e, assim, avaliar e gerir do melhor modo o efeito destes riscos [66].

3.3. Tipo de riscos

O tipo e o nível dos diferentes riscos variam consoante o tipo de obra, e é possível fazer uma breve comparação das obras subterrâneas com outros tipos de setores, conforme exemplificado na Figura 32 (que pela sua pertinência aqui se reproduz na íntegra): os projetos nucleares têm riscos sociais, institucionais e técnicos, mas têm um risco de mercado baixo; as plataformas petrolíferas seguem-se dentro dos mesmos parâmetros, embora com menor risco social (dado serem construídas afastadas do público); as obras subterrâneas têm um nível de risco técnico e de mercado elevado [67].

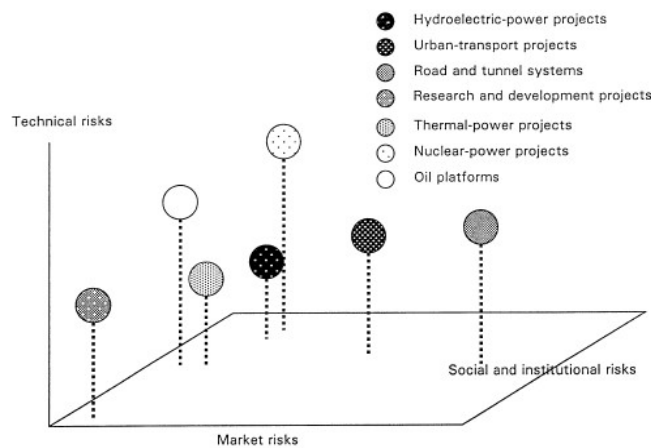


Fig.32-Diferentes tipos de riscos [67]

Pormenorizam-se abaixo os diferentes tipos de riscos em OS: Políticos [68]; legais, designadamente incumprimento legislativo [68]; contratuais e financeiros: insolvência e problemas institucionais [69], incumprimento de prazos e orçamentos previstos; técnicos: projeto, especificações ou planeamento inadequados [69], condições adversas [69], exposição a técnicas construtivas, equipamentos e materiais introduzidos pela evolução tecnológica [37], acidentes de trabalho e doenças profissionais [9]; riscos para trabalhadores e terceiros [69]; naturais [37]: inundações, deslizamento de taludes, queda de blocos, furacões, relâmpagos, infestações de animais, sismos, erupções vulcânicas; antropológicos [37]: tipo de perigo devido a poluição e degradação ambiental da flora e fauna [69], causada pelas atividades humanas, responsável pela existência de eventos como chuva ácida, contaminação de águas superficiais e subterrâneas, empobrecimento da camada de ozono, efeito de estufa, etc..

Neste estudo, apenas se analisarão os riscos do foro técnico.

3.4. Segurança estrutural / segurança ocupacional

O conceito de gestão de riscos tem vindo a ser gradualmente implementado em OS desde os anos de 1990, designadamente no seguimento da ocorrência de grandes colapsos, com consequências para o público [69], que levantaram preocupações em termos de riscos em tunelagem [36]. Numa tentativa de evitar novos eventos deste tipo, foram publicadas as “International guidelines for tunnelling risk management”, promovidas pelo Working Group 2 da International Tunnelling Association (ITA), e consideradas um marco histórico. Nos dias de hoje, tendo em conta estarmos a falar de projetos com risco relevante [70], pode dizer-se que a necessidade

de analisar as incertezas e riscos de construção de túneis está reconhecida pela comunidade de tunelamento [71], reconhecimento que pode justificar o grande esforço que a ITA tem vindo a desenvolver para cooperar na prevenção.

No entanto, e relativamente aos documentos já publicados sobre riscos em obras subterrâneas, verifica-se que a maior parte das abordagens se têm centrado mais na área do risco estrutural e menos na do risco de segurança ocupacional [9]. Claro que qualquer um dos dois aspetos pode originar acidentes de trabalho [1].

Estas duas abordagens ao risco devem ser distinguidas:

a) Riscos relacionados com risco estrutural - Este tipo de risco, com uma acentuada componente de projeto, encontra-se eminentemente ligado a questões geológicas, geotécnicas e hidrológicas e à integridade do maciço rochoso [72]. Nesta gama de riscos, incluem-se os desmoronamentos, o *rockburst*, a afluência de água e a presença de gases perigosos. Os acidentes que podem ocorrer por fragilidade estruturais têm a característica de poderem ser de baixíssima probabilidade e elevada consequência. É o caso do desmoronamento, que pode provocar danos em trabalhadores (por soterramento), equipamentos e também terceiros/público em geral (pela criação de crateras na prumada do local da derrocada) [73]. Esta área já se encontra bastante explorada cientificamente, devido às consequências deste tipo de evento, designadamente derrapagens de prazos e custos [74], muitas vezes de milhões de euros [64], e também pelo número de vítimas, entre a população, provocadas por colapsos [75]. Exemplo do relevo dado à segurança estrutural, com impacto na segurança ocupacional, foi o estudo que o Health and Safety Executive realizou após o acidente de Heathrow, Londres, em 1994 [76]. Este acidente, um dos casos de estudo mais conhecidos, teve como consequências a paragem de um terminal do aeroporto durante um mês, com atrasos de 6 meses no prazo de obra, interrupção da extensão da Jubilee Line e prejuízos de dezenas de milhões de euros. Saliente-se também o risco de aparecimento de gases no maciço rochoso (tais como o metano, que pode ocorrer em bolsadas a maior ou menor pressão) e que podem provocar, pelas suas características, explosões. No entanto, este risco não será aqui abordado, por ser um tema de carácter iminentemente geotécnico.

b) Para além destes, existem também riscos mais relacionados com a segurança ocupacional [8]. Este tipo de riscos, que não tem uma tão acentuada interferência do projetista, está eminentemente ligado às condições de segurança e saúde dos trabalhadores, e encontra-se pouco explorado cientificamente [9], como adiante se comprovará.

Um exemplo da divisão das responsabilidades foi a construção do Túnel do Marão. Os trabalhos de escavação da 1ª fase tiveram início em julho de 2009, tendo sido suspensos, por restrições de financiamento, em julho de 2011. Desde essa data até ao reinício da obra, realizaram-se exclusivamente trabalhos de manutenção e preservação da obra já executada e de monitorização da instrumentação instalada. Este interregno poderia ter levado ao aparecimento de alguns pontos fracos no revestimento primário, aumentando o risco de queda de blocos para zonas de circulação de trabalhadores e equipamentos [77]. Antes do início da 2ª fase, portanto, realizou-se uma inspeção ao túnel, através de um “Varrimento Laser”, tendo-se verificado a existência de

patologias relacionadas com deslocamentos, queda de blocos e fissuração no betão projetado [1]. Em outubro de 2014, tiveram início a segunda fase de escavação e os trabalhos de revestimento definitivo. De modo a minimizar os riscos de evolução da degradação de suporte primário e conseqüente aumento de risco de queda de blocos para zonas de circulação, a primeira tarefa realizada no início da construção da 2ª fase foi o reforço das áreas já escavadas na primeira fase de construção. Atendendo a que as questões relacionadas com segurança estrutural interferiam direta e permanentemente com as de segurança ocupacional (pois a suspensão de trabalhos em 2011 provocou riscos adicionais aos riscos habituais de queda de fragmentos de revestimento primário), foi necessária uma abordagem conjunta entre Projetista (Acompanhamento Técnico de Obra), Coordenação de Segurança em fase de Obra e Entidade Executante (direção de obra e serviços de geologia), tendo sido acordado que, para além do estabelecimento de um rigoroso plano de monitorização, iriam ser realizadas visitas conjuntas à obra, com presença de elementos ligados à segurança estrutural e à segurança ocupacional, de modo a detetar problemas no maciço ou no revestimento primário e a implementar medidas corretivas imediatas. Nestas inspeções foi possível detetar, em termos de segurança estrutural, zonas de risco, que deram azo à tomada de diversas medidas preventivas. Para minimizar o risco de queda de blocos e materiais sobre os trabalhadores e equipamentos nas áreas de trânsito, foram adotadas as seguintes medidas preventivas antes do reinício das atividades [1]:

- Saneamento mecânico e manual de zonas cuja avaliação revelava instabilidade;
- Reforço do suporte primário das zonas já executadas o mais rapidamente possível;
- Delimitação/sinalização de "zona de risco" e respetiva interdição de circulação nas zonas mais críticas;
- Observação de elementos de suporte instalados como parte da rotina diária dos intervenientes;
- Interdição de circulação pedonal nas galerias (sendo o acesso às frentes de trabalho realizado por viatura), minimizando a exposição ao risco de queda de blocos.

Verifica-se, por este exemplo, a realização de um trabalho conjunto, mas com fronteiras bem divididas, entre os elementos responsáveis pela gestão de segurança estrutural (que determinavam as medidas preventivas a tomar no revestimento primário) e pela segurança ocupacional (que determinavam as medidas a tomar nas galerias). Tudo o referido não invalida que situações de instabilidade estrutural sejam monitorizadas por todos os intervenientes, designadamente os que estão próximos da frente de escavação e em condições de dar o alerta se algo de estranho se passar. Diversas situações poderiam ser relatadas em que o encarregado de frente manda evacuar a frente de escavação porque ouviu estalidos provenientes do maciço rochoso e, poucos minutos depois, ocorre uma derrocada, que só não atinge os trabalhadores porque estes foram prontamente avisados e evacuados. Face ao referido, cumpre concluir que é certo que, em qualquer obra subterrânea, designadamente uma com as características de obra do TdM, é imprescindível um trabalho conjunto entre todos os intervenientes, mas separando atribuições e responsabilidades.

Neste estudo, apenas se analisarão as questões relacionadas com segurança e saúde ocupacional dos trabalhadores intervenientes na construção deste tipo de obras.

3.5. Segurança e saúde ocupacional

Uma vez que este trabalho versa apenas as questões de segurança e saúde ocupacionais, urge descrever aquilo que já se conhece. Considerando a literatura da área, os principais riscos identificados na construção em geral são: ruído elevado, vibrações, inalação de poeiras, exposição a substâncias químicas e biológicas perigosas, queda em altura, esmagamento, escorregamento e tropeçamento, queda de objetos, movimentação de cargas pesadas, riscos ergonômicos, atropelamentos e manuseamento de ferramentas [78]. Ora, todos estes riscos existem em obra subterrânea [2], sendo que esta apresenta, conforme já referido, características particulares (poeiras, gases perigosos, etc) [14], com um enquadramento específico: existência de um elevado grau de interação com maciço rochoso, com toda a sua potencial imprevisibilidade geológica [79], e trabalhos num espaço confinado, quente e húmido, fatores que aumentam o risco [80]. Assim, as obras subterrâneas apresentam uma lista de riscos tão extensa, ou mais, que a da construção à superfície [1]. A existência destes riscos pode levar ao aumento da probabilidade de ocorrência de Acidentes de Trabalho (AT) e Doenças Profissionais (DP).

3.6. O processo de gestão de riscos

3.6.1. Razões de existência, objetivos e vantagens

A gestão de riscos é um processo que tem como objetivo identificar perigos e riscos associados a cada trabalho, estimar a magnitude dos riscos que não se conseguem evitar [81], compará-la com padrões de referência para estabelecer o grau de aceitabilidade/tolerabilidade dos riscos, determinar as medidas preventivas mais adequadas para a minimização desse risco e definir procedimentos de monitorização e revisão dos riscos.

Assume-se, no entanto, que é impossível eliminar todos os riscos [66].

A necessidade da existência da gestão de riscos surge por quatro vias: a) por imposição legal, b) para cumprimento dos princípios gerais de prevenção, c) pela influência que tem, em termos de prazos e custos, na ocorrência de AT e DP, e d) pela relevância que a inexistência da gestão de riscos tem na ocorrência de incidentes. Pormenorize-se:

a) Legalmente, é tema referido em grande parte dos diplomas legais relativos a prevenção [82], já que constitui obrigação do empregador garantir a integração da avaliação de riscos para a segurança e a saúde do trabalhador no conjunto das atividades da empresa.

b) No que se refere aos princípios gerais de prevenção, é evidente o lugar central que a gestão de riscos assume em quase todos os onze princípios.

c) Quanto ao terceiro motivo, a ocorrência de AT e DP pode provocar uma paragem, de horas, dias, ou mesmo semanas, numa determinada frente de trabalho, com conseqüentes e elevadas implicações económicas e sociais [83], decorrentes de custos diretos ou indiretos. Esta suspensão pode ser curta, com liberação da frente

num espaço de horas, ou prolongada, até se reunirem todos os dados necessários ao término do inquérito. Embora os acidentes possam não ter sido considerados como uma das principais causas de atrasos ou incumprimento de prazos, verifica-se que quando estes ocorrem, podem ser determinantes para o desenrolar dos trabalhos, comprometendo, mesmo, em alguns casos, o sucesso do projeto [84]. Deste modo, pode ter impacto relevante no prazo, o que certamente despertará o interesse dos gestores das empresas, devendo ser sempre considerado na análise deste tipo de problemática [26]. Adicionalmente, existe a questão dos custos associados: A paragem acima referida importa elevadas implicações económicas e sociais [83], com consequentes custos diretos ou indiretos (perda de produtividade, absentismo, baixo moral, quebras de rendimento produtivo, indemnizações, tempo despendido na análise do AT). Estes custos certamente afetarão, através de uma diminuição de margens de lucro da empresa, a competitividade da mesma, bem como os seus índices financeiros. Adicionalmente, haverá menor probabilidade de a empresa se tornar um fornecedor preferencial, designadamente para Donos de Obra onde a prevenção se encontre no rol de primeiras preocupações.

d) Quanto ao quarto motivo, salienta-se que Haslam refere a falta de uma gestão de riscos adequada como um dos fatores para a ocorrência de AT [85].

A implementação de um sistema de gestão de riscos traz as seguintes vantagens:

- Identificar precocemente os perigos potenciais e as tarefas com maior risco;
- Quantificar os riscos e compará-los com os critérios de risco aceitáveis e toleráveis [37], estabelecendo assim prioridades no tratamento dos riscos [86];
- Ajudar os decisores a alocar recursos (tempo, dinheiro, equipamento, trabalhadores) para gerir os riscos mais críticos [87];
- Definir quais os principais riscos a serem resolvidos em primeiro lugar [88];
- Determinar atempadamente as ações preventivas mais adequadas aos riscos identificados [69];
- Monitorizar riscos residuais [37];
- Demonstrar que as opções foram racionalmente avaliadas [73];
- Melhorar a transferência de informação sobre riscos entre as partes [89];
- Eliminar o aumento de custos associados a paragens de trabalho ou quebra de rendimentos derivados de ocorrência de AT [37];
- Reduzir os riscos associados a objetivos do projeto [73];
- Transformar situações de risco em vantagens competitivas sustentáveis [90];
- Possibilitar a aquisição de competências e conhecimentos especializados sobre esta área por parte dos técnicos [91].

Atualmente já é assumido que a gestão de riscos faz parte do processo de decisão [92], sendo a fundação de um bem-sucedido e proativo sistema de Segurança e Saúde [93], a base para uma efetiva gestão de segurança, e a chave para baixar AT e DP [69].

Para abordar os efeitos dos elementos de incerteza, a gestão de riscos tornou-se, portanto, uma parte vital na construção de OS, como ferramenta para prever e controlar todas as atividades, antes, durante e depois da realização de trabalhos. Atendendo ao elevado número de riscos diversos que afetam a construção deste tipo de obras e à diversidade de tarefas que se realizam, pode afirmar-se que, se não existir um processo sistemático e adequado para identificar e gerir os riscos, qualquer tentativa de os compreender e lidar com eles pode ser encarada com ceticismo [68].

3.6.2. Fases da gestão de riscos

A gestão de riscos deve percorrer todo o caminho do empreendimento [69]: desde a fase de projeto (estabelecimento de política de riscos, critérios de aceitação de risco), influenciando deste modo decisões tão importantes como a escolha de alinhamento ou do processo construtivo do túnel [94]; passando pela fase de concurso e negociação (requisitos em programa de concurso, avaliação de riscos em fase de concurso, integração de cláusulas de risco em contrato); e até à fase de construção (gestão de riscos pela entidade executante, gestão de riscos pelo DO, junção da gestão de riscos das duas entidades). Muitas vezes, porém, não é isto que acontece, pois vemos a gestão de riscos relacionados com segurança estrutural aparecer em fases precoces do projeto e os riscos relacionados com segurança ocupacional aparecerem apenas na fase de obra, desvirtuando a legalmente obrigatória abordagem de riscos desde a fase de projeto.

O processo de gestão de riscos é complexo e moroso (devido à diversidade de tarefas a considerar para análise e face à complexidade dos perigos e riscos patentes em cada uma das atividades), mas bastante dinâmico (designadamente no que se refere à avaliação dos riscos existentes, pois os riscos são evolutivos mediante o desenvolvimento progressivo das condições de trabalho e da investigação em matéria de riscos profissionais) [82].

O processo de gestão de riscos estrutura-se em diversas fases [82]:

- Identificação de perigos, pessoas expostas e possíveis consequências;
- Identificação de riscos;
- Estimativa dos riscos associados aos perigos;

(estas três fases formam a análise de riscos, que visa determinar a magnitude dos mesmos)

- Valoração dos riscos – aferição do significado que o risco assume, através de uma comparação do nível de risco obtido com o nível de risco aceitável ou tolerável;

(a valoração, conjugada com a três fases anteriores formam a avaliação de riscos)

- Controlo de riscos - Medidas de redução do risco e medidas de mitigação.

3.6.2.1. Identificação de perigos e de riscos

Para garantir uma correta gestão de riscos, o primeiro passo, óbvio, é uma fiável identificação de perigos [95] – ou seja, as fontes de potencial dano, tais como condições de risco ou atos inseguros que, existindo no sistema

de trabalho, poderão contribuir para a ocorrência de AT e DP [96]. Esta etapa pode ser considerada como a mais crítica de todo o processo, na medida em que um perigo não identificado é um perigo não avaliado e, conseqüentemente, não controlado [82], dando origem a riscos sem possibilidade de gestão [2]. Este processo, por ser a base dos seguintes, deve ser realizado de forma exaustiva [88]. Se assim não for, não vai ser possível recuperar dos erros em fases posteriores, passando a gestão de riscos a assumir uma falsa estrutura [93]. Nesta fase inicial, essencial, dado estabelecer as bases para a análise de riscos [88], pretende-se aferir e identificar os perigos presentes em cada uma das fases de trabalho, associados a substâncias, equipamentos, procedimentos, ambiente, condições perigosas ou atos inseguros, bem como as respetivas conseqüências em termos de danos que possam vir a ser sofridos pelos trabalhadores expostos aos mesmos. Importa aqui englobar todas as atividades/tarefas, sejam elas rotineiras, ocasionais, ou de emergência. Para esta fase, deve conseguir dar-se resposta às seguintes perguntas, para cada tarefa: “O que pode correr mal?”; “Quão provável é que isso aconteça?”; e “Se isso acontecer, quais são as conseqüências prováveis?” [82]. Com a resposta a estas perguntas, estará consumada a identificação de perigos associados a cada tarefa. É, portanto, crucial estabelecer o modo correto para assegurar a consistência e correção da identificação de perigos [93].

Naturalmente, pode haver uma combinação de perigos (por ex., na realização de trabalhos em pressão em solos contaminados), mas não se irá aqui fazer uma análise de perigos combinados. Embora, de facto, o principal *handicap* na gestão de riscos tradicional seja o facto de que os riscos assumidos são tratados isoladamente, como eventos independentes [97], este estudo, dada a sua dimensão, e a exemplo de grande parte dos outros estudos constantes na literatura científica, assumirá esta limitação.

A identificação de riscos deve ser baseada em dados o mais completos, detalhados e fidedignos possível [98]. Deve também ser proveniente de uma variedade de fontes [93]. Neste estudo, para materializar a identificação dos perigos e dos riscos associados a cada uma das tarefas, foram dados os seguintes passos:

- Estudo de projetos similares já realizados [69], designadamente aqueles cujo legado se encontra registado;
- Estudo de guias genéricos sobre o tema [69], principalmente os produzidos pela ITA;
- Observação e caracterização, com registos fotográficos e de vídeo, dos locais de trabalho e respetivas especificidades, em particular as tarefas, postos de trabalho e dia-a-dia, bem como identificação dos erros que possam introduzir perigos nas tarefas e operações não rotineiras e intermitentes. De salientar que esta etapa foi realizada com permanências prolongadas diárias do autor em estaleiro, designadamente na obra do TdM e da Northern Line Extension.
- Discussões com técnicos qualificados e com experiência [69], consumadas através da presença em diversas reuniões de carácter técnico realizadas em diversos países.

3.6.2.2. Estimativa de riscos

A fase seguinte é a estimativa de riscos, onde se pretende quantificar a magnitude que um risco pode ter como resultado da exposição ao perigo. Esta quantificação de riscos é frequentemente muito difícil, especialmente

em atividades potencialmente perigosas, tanto em relação à avaliação das probabilidades de ocorrência dos eventos como à estimativa das consequências [91], revestindo-se de uma notável subjetividade, nomeadamente como consequência da própria subjetividade associada à estimativa das variáveis a montante da valoração do risco [82]. Isto geralmente acontece por não existirem dados suficientes e fiáveis e também porque a documentação que existe está fragmentada e é raramente acompanhada de análise.

3.6.2.3. Valoração de riscos

O próximo passo é a valoração do risco, ou seja, compará-lo com padrões de referência, estabelecendo os graus de aceitação e tolerabilidade e permitindo, desta forma, fornecer informações precisas para o empregador tomar as medidas preventivas adequadas, através de atos de gestão de segurança, para minimizar/eliminar esse fator ocupacional.

Estabelecer os padrões de referência, ou seja os critérios de aceitação e tolerabilidade de risco é um dos fatores chave para garantir a fiabilidade do processo de avaliação do risco [99]. Refira-se que, à medida que a tecnologia evolui, o limiar de aceitabilidade do nível de risco pela população em geral diminui [88]. Assim, situações que eram aceitáveis há vários anos são hoje consideradas inaceitáveis, pelo que as abordagens tendem a ser mais rígidas e conservadoras.

Acima de um determinado valor de nível de risco, o risco é considerado inaceitável e tem de ser reduzido, independentemente do custo e meios associados [69]. Abaixo deste nível, há dois limiares, correspondentes aos critérios de aceitabilidade e tolerabilidade (cujas definições e diferentes significados não se pretende aqui analisar). Embora de separação por vezes ambígua na literatura [82], é importante distinguir estes dois conceitos [37]:

Risco aceitável – *“quando a avaliação do risco permite, à luz do conhecimento científico, determinar a mais baixa prioridade de gestão do risco”* [82] ou, como definido por Kinney, cerca de 40 anos antes, *“o risco criado por um perigo que não dissuade uma pessoa conhecedora e prudente”* [100].

Risco tolerável – admite-se que o risco foi reduzido até um nível *“as low as reasonably practicable”*, associado à viabilidade física, técnica e financeira da aplicação da medida preventiva [37]. A partir desse ponto, estando devidamente avaliados os riscos a serem evitados e os sacrifícios (em termos de dinheiro, tempo e esforço) envolvidos na tomada de medidas para evitar tais riscos [101], verifica-se que os custos da redução do risco seriam desproporcionais aos respetivos benefícios. WTF alude muito objetivamente a esta ideia: *“Devemos encarar prevenção com razoabilidade e discernimento, os orçamentos não são ilimitados”* [87]. Ora cá está, coloca-se aqui em campo o dilema segurança/produção, do qual muito se poderia falar. No entanto, não sendo o alvo desta investigação, não se abordará.

Ilustram-se, pela sua pertinência, na Figura 33, os referidos níveis de aceitabilidade e tolerabilidade de risco.

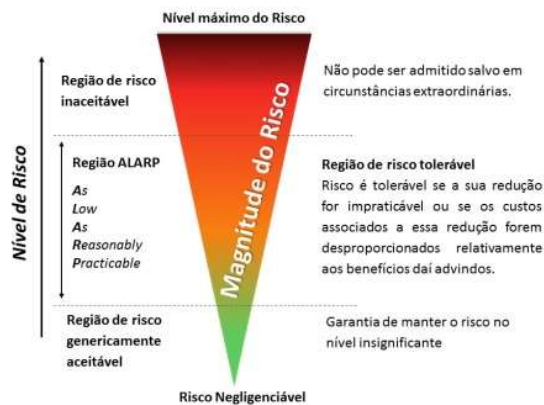


Fig.33-Limites de aceitabilidade e tolerabilidade de riscos [82]

Embora seja relevante definir estes critérios, não existe legislação, manuais ou guias que refiram quais os critérios a adotar (por exemplo, número de acidentes de trabalho por volume de horas trabalhadas ou por número de trabalhadores). Esta lacuna deixa a cargo das empresas a definição do que consideram ser um nível de risco aceitável ou tolerável. Este estudo focar-se-á no critério de tolerabilidade, dado ser o que define a existência de condições de segurança e saúde suficientes para uma determinada tarefa ser realizada dentro dos limites técnico-financeiros existentes. Ou seja, se o nível de magnitude de risco se encontra abaixo desse limite, significa que as medidas preventivas estipuladas são suficientes para controlar o risco. Se o nível de magnitude de risco se encontra acima desse limite, o risco é considerado não-tolerável tendo de se estudar medidas preventivas adicionais.

Quanto a este aspeto, apresentamos posteriormente os critérios estipulados para este estudo.

3.6.2.4. Controlo de riscos

O último passo é estipular as medidas preventivas para os riscos que não puderam ser minimizados da fase de projeto.

Existem diversas estratégias de controlo de riscos que são, gradualmente, adotadas, consoante a importância do risco e a relação custo/benefício [37]:

- Eliminar o risco na origem, através da escolha de técnica construtiva diferente, que é o princípio habitual (e melhor) de qualquer programa de gestão de risco [92];
- Evitar o risco [89], recusando o risco, ao decidir não iniciar ou continuar com a atividade que dá origem ao risco;
- Reduzir o risco, através de redução de probabilidade e consequência [89], por melhorias em processos de construção ou com medidas preventivas [92], de carácter técnico ou administrativo, organizativas, coletivas ou individuais, para trazer o risco para níveis aceitáveis;
- Aceitar o risco [89], assumindo-se que ele existe e aceitando-se o nível sem o tentar controlar;
- Partilhar o risco [89], por ex., através de parcerias público-privadas ou relações contratuais com fornecedores;

- Transferir o risco [89], passando para outra entidade os efeitos do risco (por ex., para seguradoras), sem que o nível de risco seja alterado. De realçar que o caso das OS assume uma especial importância, dado que, após diversos colapsos e respetivas perdas financeiras, as seguradoras desenvolveram, em conjunto com a British Tunnelling Society, códigos de boas práticas para a gestão de riscos neste tipo de obra (“Joint Code of Practice for the procurement, design and construction of tunnels and associated underground structures in the UK in 2003”).

Uma das hipóteses, que aqui será versada, é o estabelecimento de medidas de redução de risco adequadas e preventivas, a serem implementadas pela entidade empregadora para a proteção da segurança e saúde dos trabalhadores [102]. Já dizia WTF, no seu artigo original, que “*uma interrupção no caminho do perigo pode detê-lo*” [87]. Esta interrupção pode ser entendida como a interposição de uma medida preventiva (MP).

O estabelecimento de MP, para além de ajudar a minimizar o risco, apresenta diversas vantagens, tais como definir responsabilidades, permitir uma atribuição custos e ajudar ao planeamento de emergências [37].

Estas medidas podem assumir diversas formas (e devem ser encaradas por esta ordem) [93]:

Organizacionais – relacionadas com processos construtivos, de organização de estaleiro. Requerem alteração de modo de execução de atividade.

Coletivas – isolar os trabalhadores do perigo, através de procedimentos técnicos e administrativos.

Individuais – como o nome indica, atuam sobre o indivíduo e devem ser o último recurso na prevenção de acidentes.

De salientar que, muitas vezes, existe a necessidade de combinar diversos tipos de MP [93].

Em termos de suporte legislativo relativos a requisitos mínimos de segurança e saúde a cumprir na construção de obras subterrâneas, alguns países, tais como Inglaterra, Alemanha, Suíça, França e outros, já criaram documentos próprios para enquadrar esta temática. Portugal, por sua vez, ainda não possui um documento legislativo sobre o tema, regendo-se habitualmente, e erradamente, pelo Decreto-Lei 162/90, aplicável apenas a minas e pedreiras. O Decreto-Lei 41821/58, que configura o Regulamento Geral de Construção Civil, por seu lado e sendo genérico para o setor da construção, não versa sobre as medidas preventivas a tomar no caso de realização de obras subterrâneas. De datação mais recente, a Portaria 101/96 e o Decreto-Lei 273/2003 também não enquadram devida e suficientemente esta temática. Existe, assim, um vazio legislativo a nível nacional nesta matéria.

3.6.2.5. Monitorização e divulgação de informação

O processo de gestão do risco completa-se com a edição de mapas ou relatórios, compreensíveis por todas as partes, que resumam o estudo realizado e evidenciem os resultados da avaliação de risco realizada [37], sendo fulcral para o sucesso da transmissão de informação [91]. Este tipo de documentos é a base de todo o processo de gestão de riscos para chegar a níveis de riscos aceitáveis [93]. Tal como em todo o restante setor da construção, este tipo de documentos corresponde ao Plano de Segurança e Saúde em fase de Projeto (que

indica os riscos que não puderam ser minimizados na fase de projeto), que posteriormente é desenvolvido para a fase de Obra, concretizando os riscos evidenciados e indicando as medidas a adotar, considerando um determinado conjunto de métodos construtivos, equipamentos e materiais a utilizar. Pode também assumir a forma de manuais dos Donos de Obra ou Entidades Executantes.

3.6.2.6. A gestão de riscos na prática

Apesar da sua notória utilidade, nem sempre o processo de gestão de riscos, designadamente em Portugal, e ao contrário do presenciado em Inglaterra, é encarado de forma positiva e como uma oportunidade [103], como algo mais do que a necessidade de cumprir requisitos legais [104], talvez devido a lacunas culturais ou financeiras. Muitas vezes, é encarado com carácter reativo (por ex., em caso de perigo iminente) em vez de preventivo. Naturalmente, um cenário de crise (que se traduz em prazos de execução apertados, ritmos produtivos elevados, orçamentos com margem financeira baixa e concorrência bastante agressiva) como o que se vive em Portugal agrava este modo de encarar a prevenção, dificultando a implementação de uma postura preventiva. Outras vezes ainda, o exercício de gestão de risco não alcança os seus fins, sendo pouco mais do que um exercício documental, estático e administrativo, desvirtuando o espírito preventivo, com os documentos a revelar-se generalistas e pouco inteligíveis e a serem pouco consultados (especialmente quando é apenas utilizado para cumprimento de requisitos legais) [105] ou promovendo poucos benefícios práticos [106]. Adicionalmente, nem sempre as temáticas de segurança são abordadas do modo mais correto: muitas vezes a preocupação é concentrada em temas de menor importância quando o problema efetivo é um assunto a montante e de maior dimensão, fazendo assim com que os técnicos de segurança se concentrem em assuntos secundários. Reis coloca esta problemática numa frase só: *“A falta de guarda corpos numa determinada plataforma não passa de uma “frame” errada, que pode ser monitorizado por qualquer indivíduo consciente no estaleiro! Mais preocupante, é estarmos perante o Filme/Guião errado! Este com propagação/contágio no tempo. “Frames” medíocres vão sempre existir! Em bons filmes e maus filmes! Com menor probabilidade de ocorrência em bons guiões!”* [107].

Adicionalmente, geralmente os técnicos e coordenadores de segurança deparam-se com diversos obstáculos, tais como não ter voz ativa na tomada de decisão das soluções de projeto; dificuldades na interação/comunicação com os restantes autores do projeto; falta de sensibilização dos Donos de Obra e próprios projetistas para a coordenação de segurança e saúde do projeto; falta de conhecimentos técnicos para a organização e planeamento do processo de consulta.

O panorama que o autor presenciou em Inglaterra configura-se como uma antítese do panorama português. O processo de gestão de risco é encarado de uma forma eminentemente preventiva, sendo a temática “Prevenção” tão valorizada como as restantes. Esta constatação evidencia uma cultura de prevenção consolidada, assente em sólidas raízes educacionais e formativas que permitem que um trabalhador, ainda que não possuindo uma escolaridade ou formação relevante, tenha uma atitude preventiva e não reativa. Esta

postura reflete-se a vários níveis, designadamente nas baixas taxas de sinistralidade do setor de construção no Reino Unido. Reflete-se também no facto de termos publicados documentos de gestão de riscos que expõem o legado de diversas obras, verdadeiros “*living documents*” [105]. Exemplo disso, são os relativos à construção do Canal da Mancha (que, ainda hoje, e passados muitos anos da sua construção, servem de orientação técnica), o caso dos túneis transalpinos, o caso do *Crossrail* (cujo promotor fez questão de criar um *website* para a divulgação do legado).

No tocante a legado, o autor não pode deixar de referir que se esforçou para, relativamente à obra do TdM, deixar bem registado o legado em matéria de segurança e saúde.

À laia de conclusão da abordagem de enquadramento sobre gestão de riscos, e considerando que esta tem como objetivo-base a redução de riscos, não é demais afirmar que se apresenta como uma temática deveras atual nas OS, o que é bem evidenciado pela relevância que se lhe tem vindo a dar em diversas instituições (como a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho ou a *International Tunnelling Association*) e em diversos eventos técnico-científicos (como os Congressos Internacionais realizados na Universidade do Minho), bem como nos grupos técnicos da Comissão Portuguesa de Túneis e da *International Tunnelling Association*.

3.7. Riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores

Neste capítulo, pretende-se fazer uma breve descrição, sustentada numa revisão bibliográfica realizada, dos doze principais riscos para os trabalhadores presentes em obra subterrânea.

Para a organização dos riscos identificados e na sequência de revisão bibliográfica realizada, tomou-se como base as denominações atribuídas aos códigos de respostas a variáveis “Desvio”, segundo as Estatísticas Europeias de Acidentes de Trabalho (EEAT), do Eurostat. As denominações atribuídas pelo EEAT encontram-se entre aspas e as agora atribuídas para efeitos desta investigação indicam-se a sublinhado.

Grupos 10-30: O desvio está normalmente fora do controlo do sinistrado – “Problema elétrico, explosão, incêndio” (Eletrização/eletrocussão; Detonação extemporânea); Grupo 20: “Transbordo, derrubamento, fuga, escoamento, vaporização, emanação” (Inalação de gases provenientes de equipamentos a gasóleo, Inalação de gases provenientes de incêndio, Inalação de gases provenientes de detonação de explosivos, Inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado, Contacto com produtos químicos); Grupo 30: “Rutura, arrombamento, rebentamento, resvalamento, queda, desmoronamento” (Rutura, queda de blocos/torrões de betão projetado, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos). Grupo 50: “Escorregamento ou hesitação com queda, queda de pessoa” (Queda ao mesmo nível/em altura). Grupos 40, 60-70: A pessoa perde, total ou parcialmente, o controlo de alguma coisa – “Perda de controlo de máquina ou meio de transporte”; Movimentos do corpo – “Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (conduzindo geralmente a lesão externa)” – Caso em que existe um movimento, voluntário ou não, do próprio corpo, sem haver necessidade de um esforço físico especial, estando o sinistrado sujeito a uma lesão corporal, geralmente

externa. “Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (conduzindo geralmente a lesão interna)” – Caso em que existe um movimento, voluntário ou não, do próprio corpo, ferindo-se a si próprio, podendo haver um agente material externo que seja a fonte do esforço físico suplementar na origem do constrangimento físico. Dada a similaridade de enquadramento do risco e das medidas preventivas, foram unidos os itens relativos a estas duas respostas a variáveis e a “Perda de controlo de máquina ou meio de transporte”, criando-se o risco Problemas musculoesqueléticos. Grupo 80: “Surpresa, susto, violência, agressão, ameaça, presença” – O sinistrado é agente ativo no acidente, encontra-se no lugar errado à hora errada (Atropelamento, Contacto com agentes biológicos).

Os restantes grupos de desvio indicados no EEAT não referidos correspondem a situações não aplicáveis ao setor da construção.

No que se refere a fatores ocupacionais, foram adotados os cinco fatores mais habituais: Ruído, Vibrações, Temperaturas extremas/radiações, Ambiente pressurizado e Stresse.

3.7.1. Eletrização/eletrocussão (ELEC)

A eletricidade é uma fonte de energia imprescindível para a realização de uma obra subterrânea. O tipo de corrente elétrica presente numa obra subterrânea pode variar entre baixa e alta tensão.

Os riscos decorrentes da utilização desta fonte de energia ocorrem por contacto direto (alguém toca em condutor vivo) ou contacto indireto (alguém toca em algo que habitualmente não tem corrente).

Estes contactos podem ocorrer com componentes dos equipamentos utilizados para as tarefas; com componentes de infraestruturas de apoio a frente de escavação e de revestimento definitivo, com cabos elétricos subterrâneos em carga que podem aparecer em escavação a baixas profundidades, ou devido a criação de energia eletrostática, pela passagem de poeiras e gases pelo sistema de ventilação [108].

A obra subterrânea tem particularidades que agravam este risco, tais como:

- As características intrínsecas e muito agressivas de temperatura, humidade, agentes físicos e químicos presentes;
- O facto de, para cada conjunto de avanços na escavação e nos revestimentos definitivos, existir a necessidade de montagem e desmontagem de infraestruturas elétricas [109];
- A elevada quantidade de trabalhos manuais a realizar, promovendo o contacto com a parte do corpo humano por onde geralmente entra a energia (e onde ocorrem mais danos), a mão, sendo os cabos nus o agente provocador [110];
- A propulsão, por eletricidade, de alguns equipamentos, designadamente locomotivas [108].

As consequências mais habituais da eletrização/eletrocussão são lesões superficiais – geralmente por contacto indireto [111]; queimaduras – geralmente por contactos diretos [111], podendo chegar ao extremo de ocorrer fibrilação ventricular, paragem respiratória e morte. Este tipo de acidente sobressai pelas suas consequências

relevantes, dado historicamente dar origem a muitos ATM [112], designadamente os AT por contacto indirecto [111].

De realçar que os problemas e falhas de energia consequentes da eletrização/eletrocussão podem ter efeitos adversos na segurança e saúde, mas também em termos produtivos, tais como [2]: falhas nos sistemas de iluminação, de ventilação (com consequente incapacidade de renovação de ar interior, aumento de temperatura e acumulação de poluentes), de comunicação, de transporte elétrico (provocando aprisionamento de pessoas) e de bombagem, ou mesmo a paragem total da tuneladora [60].

3.7.2. Detonação extemporânea/projeção de blocos (DETN)

3.7.2.1. Detonação extemporânea

A explosão extemporânea está muito ligada ao manuseamento, armazenamento e transporte de explosivos, sendo um risco exclusivo do MEC [2]. Este fenómeno pode ocorrer por:

- detonação prematura de explosivos
- ativação prematura de detonador

Faça-se uma pequena apresentação dos diversos tipos de explosivos e detonadores.

Os principais tipos de explosivos utilizados são: gelatinosos, ANFO e emulsões. Os gelatinosos são explosivos com velocidade de detonação e potência elevadas e com uma boa resistência à água. Os ANFO são explosivos granulados com pouca resistência à humidade, baixa velocidade de detonação, mas com relevante criação de gases, com consequentes problemas ambientais e de saúde ocupacional. As emulsões têm origem na década de 70, tendo o sucesso inicial ocorrido nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e África do Sul impondo-se, posteriormente, na década de 90, na Alemanha e outros países de Leste [113], por motivos económicos e de melhor salvaguarda ambiental. São um sistema bifásico e são constituídas por pequenas partículas de nitrato de amónio disperso em hidrocarbonetos derivados de petróleo por intermédio de agentes emulsionantes. Podem ser apresentadas em duas fases: por si só, não são explosivas, mas, quando adequadamente misturadas e corretamente iniciadas, reagem como explosivos.

Diversos fatores devem ser ponderados na escolha do explosivo a utilizar: fatores económicos (custos do explosivo, perfuração, fragmentação secundária, transporte e britagem); características da rocha e maciço rochoso (propriedades geomecânicas da rocha e grau de fracturação do maciço); tipo de explosivo (magnitude e modo de libertação de energia, impedância característica, e sensibilidade e condições de armazenamento); condições existentes (diâmetro de carga, presença de água e temperatura da rocha); resultados pretendidos (grau de fragmentação a obter e volume de rocha a desmontar).

Referem-se em seguida os três principais sistemas de iniciação atuais.

Cordão detonante - O cordão detonante é um tubo, com revestimento de plástico flexível, apresentado em bobinas, e constituído no seu interior por um explosivo detonante. Iniciado o cordão detonante com um detonador elétrico ou pirotécnico, a onda de choque responsável pelo rebentamento das cargas dos furos é

transmitida por este meio ao cartucho que serve de escorva. Como vantagens, apresenta uma detonação garantida de cartuchos separados por inertes e uma grande insensibilidade a humidade. Como desvantagens, apresenta a possibilidade de destruir o tamponamento dos furos e o facto de ser relativamente caro e sensível ao choque (manuseamento).

Detonadores elétricos - Os detonadores elétricos ativam-se por ação térmica, via inflamação de um filamento percorrido por uma corrente de média ou alta intensidade. Dividem-se em: instantâneos, retardados (com elementos retardadores, provocando atrasos múltiplos de 0,5 segundos), ou microrretardados (atrasos múltiplos de 25 milissegundos). Têm como vantagem a inalterabilidade, porque o prazo de validade é elevado. Como desvantagens: podem ser usados por qualquer pessoa que tenha uma bateria ajustada ao tipo de detonador; são sensíveis a correntes parasitas ou erráticas, que podem iniciar inadvertidamente o desmonte; e possuem erros associados ao elemento retardador pirotécnico e limitação de número de atrasos por desmonte.

Detonadores não elétricos - Nestes detonadores, o fio elétrico é substituído por um tubo de material de elevada resistência à tração. A ação é mecânica, por intermédio de impacto, provocado pela propagação de uma onda de choque conduzida num tubo impregnado de uma quantidade ínfima de explosivo e de sensibilizante. Como vantagens, não há o perigo associado a correntes elétricas espúrias (por exemplo, trovoadas); melhor temporização do diagrama de fogo, conduzindo a uma melhor distribuição de tempos ao longo de pega (sem limitação de número de atrasos por desmonte), com conseqüente menor amplitude vibratória, que leva a melhor fragmentação, menor projeção de blocos e menor afetação de camadas de betão projetado nas proximidades; facilidade de carregamento (pode ser escolhido o local de início após o carregamento da pega); detonador no fundo do furo, aplicado com a máxima segurança. Como desvantagens, não permite a verificação prévia (e posterior a pega de fogo, por falta de meio de comunicação com detonadores) e inequívoca do funcionamento de ligações e detonadores [8], e é suscetível a erros associados ao elemento retardador pirotécnico.

Detonadores eletrónicos - Os detonadores eletrónicos são detonadores térmicos, protegidos por um sistema eletrónico, pois a inflamação do filamento percorrido pela corrente elétrica apenas ocorre quando um chip contido no detonador dá a informação que aquela peça, que possui um código único, pode disparar (logo, sem possibilidade de erros associados a elemento retardador, como o existente no detonador pirotécnico).

3.7.2.2. Projeção de blocos

Um dos efeitos negativos da utilização de explosivos é a projecção de blocos [44], que se pode definir como o deslocamento de volume de maciço rochoso, a distâncias superiores às previstas e desejáveis [114]. A energia libertada pelo explosivo durante uma pega de fogo provoca o esmagamento de rocha na vizinhança do furo, fratura a rocha para além da vizinhança, cria uma onda de pressão e de gases, e gera ondas sísmicas, fazendo a rocha deslocar-se para longe do furo. Qualquer incompatibilidade entre a distribuição da energia gerada, as propriedades do maciço e a zona confinada cria potencial para projeção de blocos que podem alcançar para

além da área de segurança [115], originando acidentes graves envolvendo pessoas, equipamentos ou ainda infraestruturas diversas [114].

As causas prováveis para a ocorrência deste fenómeno podem ser [115]:

- descontinuidades no maciço [116]: existência de fragilidade, como microfracturas que individualizam blocos.

Deve ter-se em atenção que, dentro do mesmo plano de fogo, as características de maciço podem variar;

- questões relacionadas com dimensionamento de pega de fogo [116]: plano de fogo desadequado, má aplicação, carga muito concentrada de explosivos). Quanto ao plano de fogo, realça-se que a previsão em 2D não considera as características espaciais das propriedades do maciço, utilizando um valor médio desse parâmetro, facto que pode ser ultrapassado utilizando tecnologia a três dimensões (3D). De salientar as potencialidades das tecnologias 3D e simulação digital que, desde o início dos anos 90, obviam os problemas inerentes ao já antigo processo de tentativa/erro [117];

- furos demasiado inclinados;

- atacamento inadequado [116]: o atacamento previne a fuga de gases a alta pressão dos furos.

Outro dos efeitos negativos que pode ocorrer é a invasão da área de segurança, que pode ser definida como a área em que a onda de choque, o material a voar ou os gases de explosão podem causar ferimentos [116].

Esta área é definida consoante a geologia do material, o plano de fogo, a experiência em trabalhos análogos e os sistemas de retardamento [115]. Os acidentes relacionados com invasão da área de segurança, ou seja, alguém entra na zona de proteção [116], podem ocorrer por diversos motivos, entre os quais [115]:

- uso inadequado de abrigos;

- falha na evacuação de trabalhadores da área de segurança [116]: a falha na evacuação de trabalhadores de áreas de fogo é complicada, devido à cada vez maior mobilidade (e rapidez de entrada em área de segurança) proporcionada pelas viaturas todo o terreno;

- falha na compreensão de instruções dadas por operador de fogo ou supervisor [116];

- inadequada vigilância de acessos a perímetros de segurança [116].

3.7.3. Inalação de gases provenientes de equipamentos a gasóleo (DIES)

Os motores de combustão interna a gasolina podem emitir grandes níveis de CO [108] e apresentar um risco acrescido de criação de ignição. Logo, não devem ser usados em subterrâneo. Solução mais aceitável é a utilização de motores a diesel, embora estes não deixem de ser contaminantes [77]. As emissões de motores diesel, ainda que menos prejudiciais, são uma fonte grande de contaminação com monóxido de carbono [118], monóxido de azoto [119], ácidos sulfurosos, vários hidrocarbonetos [120], e pequenas partículas (que podem ficar suspensas durante bastante tempo), reduzindo também o oxigénio na atmosfera [121], sendo a segunda maior causa de impactos para a toxicidade humana [122]. Esta situação ganha contornos ainda mais preocupantes em casos de congestão de tráfego em locais subterrâneos.

As fontes deste poluente podem ser:

- Os equipamentos móveis utilizados para fazer chegar materiais e trabalhadores a frentes de obra;
- Os equipamentos móveis utilizados diretamente para realização de escavação e remoção de escombros [121];
- Os equipamentos móveis utilizados para apoio a montagem de dispositivos de estabilização e revestimento final;
- Os equipamentos fixos alimentados a diesel, tais como geradores, compressores ou bombas de betão.

O nível de emissões pode variar muito, dependendo do tipo de veículo e do seu modo de operação [123], do tipo de manutenção que lhe é dada e da qualidade do combustível [121].

Este tipo de contaminante pode provocar irritação nos olhos e vias respiratórias [108], ou mesmo, como defendido em alguns estudos, a aparecimento de asma [124], diminuição da função pulmonar [118], bronquite crónica [125] ou cancro [126].

De salientar que, à medida que o túnel aumenta de dimensão, o volume de gases produzidos por equipamentos também vai aumentar [122], pelo que a secção transversal deverá ser sempre tomada em conta durante o estudo deste risco.

3.7.4. Inalação de gases provenientes de incêndio (INCEN)

O fogo, com consumo do oxigénio existente e emissão de gases perigosos que, não sendo detetados atempadamente, se podem espalhar rapidamente e atingir áreas longe da ignição inicial, é um dos principais riscos em tunelagem [108] (diferindo da obra ao ar livre e apresentando riscos mais elevados do que esta última). O incêndio encontra-se atualmente caracterizado como um dos acidentes mais frequentes em túnel [37], com grande potencial para criar diversas vítimas [127], designadamente por asfixia [108].

Já no Túnel da Mancha este assunto estimulou diversas pesquisas teóricas e experimentais. Nesta obra, e atendendo ao elevado comprimento dos caminhos de evacuação em caso de incêndio, o risco foi assumido como uma das maiores preocupações, dada a elevada utilização de óleos minerais inflamáveis no sistema hidráulico do túnel [109]. No *Crossrail*, este risco foi também bastante escalpelizado, tendo o legado dado origem a um manual específico para controlo de riscos de incêndio [128].

Todos os elementos que são necessários para iniciar um fogo (combustível, comburente e fonte de ignição) estão bem presentes em obra subterrânea.

Os principais combustíveis existentes em OS são:

- Sólidos inflamáveis, designadamente: partes de plástico ou borracha dos equipamentos (por ex., pneus); gorduras (bastante presentes em tunelagem mecanizada); sacos de cimento [108]; cabos e tubagens [2]; telas de impermeabilização; revestimentos de cabos de instalações elétricas [109] ou outras infraestruturas; ou resíduos [127];

- Gases [129] ou líquidos inflamáveis, utilizados para operações de montagem, operação, manutenção, reparação e desmontagem de infraestruturas ou equipamentos [109], ou como combustível (em caso de fuga ou derrame, por exemplo) [130];
- Estações de recarga de baterias.

As fontes de ignição mais habituais em OS são:

- Zonas quentes de equipamentos, quando atingidas por projeção de combustível, identificada como uma das maiores causas de incêndio em túneis [131]. Esta projeção pode ocorrer, por ex., por fuga de óleo a alta pressão, devido ao jato produzido, ou por um rebentamento de mangueira, que pode provocar uma explosão com grande perda de óleo inflamável [131];
- Faíscas projetadas para zonas de combustível ou provocadas por contacto violento entre metal e rocha. As faíscas, aliás, salientam-se como uma das principais causas de fogo e explosão, podendo percorrer distâncias relativamente grandes [130];
- Sobreaquecimento de instalações elétricas, de motores de equipamentos (camiões, locomotivas) [129], de sistema de travões de equipamentos móveis, de componentes de tuneladoras, por serem muito mecanizadas, ou provocado por atrito ou fricção [132];
- Atividades de foguear, fumar [132] ou chamas nuas [108];
- Eletricidade estática [132].

Em termos de comburente, existe o oxigénio, sempre presente em subterrâneo, designadamente porque o sistema de ventilação fornece continuamente ar fresco para a frente de escavação.

Certos locais são bastante propensos e vulneráveis a fogos, quer por possuírem alta inflamabilidade, por eventual dificuldade de extinção, quer porque as consequências de um incêndio nesses locais seriam catastróficas [108], por ex. o caso dos tapetes transportadores que, pela sua mobilidade, apresentam consequências potencialmente mais elevadas [131].

No caso de ambiente pressurizado, este providencia uma maior massa de oxigénio, aumentando assim o risco de incêndio e também a velocidade de propagação de chamas, dificultando deste modo o combate ao incêndio [108]. Assim, materiais que são inflamáveis numa atmosfera normal arderão mais vigorosamente em ambiente pressurizado e os materiais que são seguros numa atmosfera normal podem tornar-se inflamáveis em ambiente pressurizado [108].

O incêndio tem ainda o potencial de causar danos nos equipamentos (inviabilizando a sua utilização) ou mesmo causar danos estruturais aos elementos já construídos [57], com potencial forte impacto em termos produtivos, podendo ainda condicionar a visibilidade ou obstruir uma das saídas do túnel.

3.7.5. Inalação de gases provenientes de detonação de explosivos (EXPL)

A utilização de explosivos provoca o aparecimento de gases tóxicos, após a detonação da pega de fogo. O tipo e volume de gases libertado após a detonação é influenciado pelo tipo de explosivo utilizado [120], pelo que importa escolher um explosivo que produza baixas quantidades de gases tóxicos [77] (Figura 409).

De salientar que existem algumas situações particulares em que os trabalhadores ficam bastante expostos a estes gases, por exemplo, mesmo após a pega de fogo, em situações onde existe menos cuidado nos tempos de espera antes de entrada na frente de escavação onde foi dada pega de fogo.

Em termos de exposição a amónia, ilustra-se na Figura 34 um registo (sem qualquer tipo de adaptação para se perceber a realidade dos dados obtidos), a medição de exposição durante um ciclo de escavação que faz sobressair a elevada exposição a amónia imediatamente após a pega de fogo realizada com ANFO.

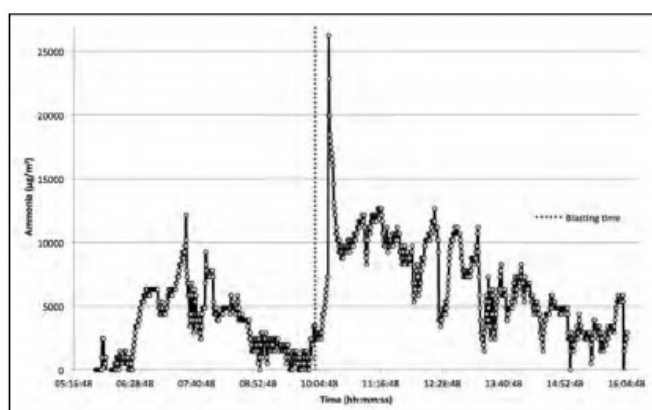


Fig.34-Concentrações de amónia durante pega de fogo utilizando ANFO [123]

3.7.6. Inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado (POEI)

Existem dois principais tipos de poeiras criadas em subterrâneo: poeiras provenientes de maciço rochoso, derivadas da furação e da projeção de betão, e também poeiras geradas durante pegadas de fogo [133].

3.7.6.1. Poeiras provenientes de maciço rochoso

O processo de escavação do maciço rochoso, com transporte do escombros para vazadouro, provoca o aparecimento de partículas de pequena dimensão. O perigo que representam para a saúde depende da sua composição, forma, propriedades e granulometria [121]. No processo de criação de poeiras, há que ter em conta a sua dimensão, que pode ser diversa: as poeiras de 30µm e superior são muito grossas e assentam muito perto da fonte de emissão; as partículas entre 30 e 10µm mantêm-se suspensas por tempo limitado e são menos preocupantes em termos de saúde, dado ficarem presas nas narinas ou na boca; as partículas com menos de 10µm têm maior propensão para serem inaladas e percorrerem o trato respiratório; as partículas menores que 2,5µm são inaladas até aos pulmões. Estas poeiras de menor dimensão, bastante perigosas, têm ainda como característica o facto de poderem ficar suspensas no ar por muito tempo (quanto mais pequenas, mais tempo demorarão a pousar) [121] podendo, pela sua leveza, ser novamente levantadas com uma pequena movimentação do ar, por ex., proveniente de ventilação, principalmente se a temperatura estiver alta [14]. As

poeiras, no processo de assentamento, depositam-se nas paredes e nos equipamentos [134]. Uma característica peculiar das partículas de menor dimensão é que, geralmente, não se conseguem ver, a não ser mediante utilização de fontes de iluminação, como os feixes de luz dos faróis (Figura 35)



Fig.35-Poeiras suspensas no ar [127]

As poeiras podem aparecer: durante a escavação, ainda que o maciço revele humidade [108], pelo processo de escavação mecânica propriamente dita [131], designadamente na furação [135]; pela atividade de carga e remoção de escombros [136]; pela britagem em subterrâneo [131]; pelo contacto com maciço associado a outras atividades [131]; pela instalação, manutenção ou remoção de mangas de ventilação sem que os trabalhos sejam interrompidos [135]; pela passagem de rodados por pavimento que contenha poeiras; pela limpeza de painéis de cofragem com ar comprimido [120]. A exposição dos manobreadores às poeiras pode ser aumentada pelo facto destes terem as janelas abertas ou necessitarem de sair frequentemente das cabines para dar apoio em outros trabalhos [135].

Nos casos mais ligeiros de concentração de poeiras, em que não são excedidos os VLE, pode ocorrer apenas uma mera irritação de olhos e garganta. Já nos casos de exposições de longa duração, uma das consequências mais comuns são problemas respiratórios/pulmonares [137], designadamente com perda de função pulmonar [138]. Dentro das perturbações respiratórias/pulmonares, importa diferenciar as doenças das vias respiratórias das doenças do pulmão.

No que se refere à inflamação das vias respiratórias, temos a bronquite [108] e a doença pulmonar obstrutiva crónica [139]. Relativamente às doenças do pulmão, temos as pneumoconioses, originadas pela deposição de partículas de poeira no pulmão. É necessário distinguir as provocadas pela deposição de poeiras de sílica, provenientes do maciço rochoso, a silicose [108], situação mais típica neste tipo de trabalho [77] e maior consequência da inalação de partículas com sílica cristalina, das provocadas pela deposição de partículas de amianto [137], situação menos típica.

A silicose é a doença profissional conhecida mais antiga e grave, já identificada desde o tempo da Grécia e Roma Antigas [140]: nessa altura, Plínio, o Velho, referia que os mineiros deviam cobrir a face, de modo a não inalarem poeiras potencialmente fatais. A silicose é uma doença progressiva e incurável [141], sendo que a sílica cristalina é respirável e potencialmente fatal [38], devido a deposição nos pulmões, com aparecimento de

nódulos que não cicatrizam e endurecem o tecido pulmonar, que vai perdendo assim a sua elasticidade e capacidade de extrair oxigénio do ar [142]. A taxa de progressão da silicose parece depender da taxa de deposição de sílica nos pulmões, bem como da concentração total de sílica retida nos pulmões [140]. A inalação de sílica, em determinadas formas cristalinas, pode ainda causar cancro [141]. Pode ser do tipo:

- Crónica – apresentação mais comum, derivada de exposição baixa a moderada. Geralmente, desenvolve-se depois de 10 ou mais anos de exposição a baixas concentrações de sílica. Alguns doentes com silicose simples podem não ter sintomas e o diagnóstico ser feito após raio-X de rotina. Poderão, ainda assim, ter alguma tosse, e a falta de ar é mais comum em fases mais tardias da doença.

- Acelerada – provocada por exposição elevada durante muito tempo. Desenvolve-se 5 a 10 anos após exposição inicial.

- Aguda – ocorre após exposição a altas concentrações de sílica cristalina respirável, com um período de latência que vai desde poucas semanas a cinco anos.

Existindo um elevado teor de sílica no maciço, aumenta a probabilidade de poeiras de sílica respiráveis estarem presentes na atmosfera [2].

Outro tipo de partículas inaláveis são as de amianto [131], que podem existir naturalmente no solo, em alguns tipos específicos de rocha [121]. É prejudicial para a saúde [143], devido ao risco de dispersão de fibras no ar [98], que provocam, por inalação, problemas pulmonares [108]. Outros tipos de poeiras, derivadas das atividades de apoio, tais como de chumbo, cádmio, mercúrio e arsénio, podem levar a sobrecarga pulmonar e diminuição de função respiratória.

Em termos de obra, a elevada concentração de poeiras no ar, independentemente da sua origem, pode ainda ter um impacto negativo relevante nas condições de trabalho [144], com uma redução da visibilidade [145], que pode aumentar o risco de AT com equipamentos móveis. Além disso, pode provocar um maior desgaste dos equipamentos, pela abrasividade das poeiras [146], e uma perda geral de produtividade [145]. O desgaste de equipamentos é importante do ponto de vista produtivo, dado reduzir o ciclo de vida do equipamento [145], algo com bastante impacto no ciclo produtivo, e aumentar potencialmente os custos de manutenção [147].

3.7.6.2. Poeiras provenientes de betão projetado

Uma das medidas preventivas de estabilização no MEC é o reforço da estrutura com a utilização de betão projetado. A questão é que, apesar de ser uma medida preventiva de foro estrutural, esta atividade provoca a libertação de poeiras [118], potencialmente silicogénicas [148]. Esta libertação é exacerbada pela ação do ar comprimido no processo de projeção, que pode provocar uma dispersão relevante das partículas [135].

Para melhor compreendermos a evolução da técnica e o que ela implica, impõe-se uma perspetiva histórica da evolução do betão projetado.

O aparecimento do betão projetado foi precipitado pela descontinuação do uso da madeira como escoramento [39]. A invenção daquilo a que chamaram, na altura, “*cement gun*”, por C. E. Akeley, um “taxidermista”

(patenteada em 1911, como um equipamento para mistura e aplicação de materiais plásticos ou adesivos para preencher os esqueletos e simular o aspeto real [41], no caso, areia seca e cimento), revela-se como um ponto de viragem. O equipamento em questão utilizava ar comprimido e adição de água, através de um bocal de onde saía a mistura para a superfície previamente preparada. A primeira utilização sistemática desta técnica foi em 1914, na mineração. A Figura 36 exemplifica o modo como era aplicado o betão projetado.



Fig.36-Projeção de betão no Túnel Ulmberg, em Zurique, em 1927 [39]

Na década de 1970, nos Estados Unidos da América, exigiu-se, por questões de produção e prevenção, que à mistura fosse adicionada água antes de ser bombeada – foi o aparecimento do processo por “via húmida”. Entretanto, no início dos anos 80 do século passado, foram utilizados na Escandinávia os primeiros robôs de projeção.

Atualmente, a aplicação de betão projetado deve responder a necessidades produtivas (tais como um correto processo de obtenção de presa e uma boa trabalhabilidade, bombagem e projeção), bem como a questões de segurança e saúde (tais como uma reduzida produção de ricochete e poeiras). Face à necessidade gradual de se obterem resistências cada vez mais elevadas o mais rapidamente possível, o estado da arte atual é a aplicação por via húmida. Mas a obtenção de bons resultados na projeção depende de vários fatores: da natureza do maciço, da capacidade adesiva da mistura, do processo de projeção, da direção da projeção, da presença de obstruções e da distância entre a mangueira e o maciço [149].

Embora atualmente ainda se aplique betão projetado por via seca (designadamente em secções transversais de menor dimensão), as vantagens económicas desta opção são anuladas pelos efeitos adversos em termos de segurança e saúde, designadamente pela elevada produção de poeiras [149]. Vale a pena relembrar as vantagens da projeção por via húmida: uma vez que a quantidade de poeiras criada pode ser $\frac{1}{4}$ da quantidade criada pela via seca [149], é altamente eficaz para limitar a contaminação do ar [131].

O primeiro passo para garantir a minimização de ocorrência de poeiras é este risco fazer parte do processo de projeto da mistura a aplicar [108], designadamente no que se refere ao tipo de projeção. De salientar que nem sempre a emissão de poeiras se torna realmente um parâmetro a avaliar na mistura.

Para manter as suas vantagens, a projeção por via húmida tem de ser suportada pela existência de mão-de-obra especializada, nomeadamente um operador de robô com experiência, e pela utilização do nível de pressão de ar adequado [149]. A literatura analisada realça a componente humana, nomeadamente a competência técnica do operador de robô: o modo como o braço do robô de projeção é colocado, em termos de distância da zona de aplicação e em termos do ângulo de projeção, tem grande impacto nos riscos em destaque.

As consequências da inalação de poeiras são semelhantes às mencionadas para as poeiras provenientes do maciço rochoso.

3.7.7. Contacto com produtos químicos (QUIM)

Para a realização da escavação, revestimento primário e revestimento final, é utilizada uma grande diversidade de produtos químicos, que podem ser absorvidos, por ingestão, inalação ou contacto direto, sendo as vias de absorção mais comuns a cutânea e a respiratória [150].

Alguns dos produtos podem ser eliminados pelo corpo, mas outros podem concentrar-se em órgãos ou tecidos específicos, causando perturbações que vão desde o cansaço até a cancro ou mutações genéticas [150].

Listam-se, de seguida, alguns dos produtos químicos perigosos utilizados em OS.

Cimento – O cimento é, geralmente, utilizado durante a aplicação de soluções de estabilização de terreno (junto com agentes para estabilização) [151], projeção de betão [127] e betonagem para revestimento definitivo, como componente do betão armado. Pode, pela sua abrasividade, provocar problemas de pele, se se depositar nesta [152] ou se se misturar com o suor [19], originando secura, vermelhidão, fissuração, descamação e inchaço da pele [108], podendo ser bastante dolorosa [153]. Este tipo de problema de pele encontra-se identificado em túneis desde as obras no metro de Paris, em 1900-1905 [152]. É irritante em termos respiratórios [121], podendo contribuir para o agravamento da asma, o que se traduz na redução da função pulmonar dos operadores de robô de projeção de betão [120].

Aditivos para grouting – Os produtos químicos para tratamento de solo por *grouting* podem ser alergénicos, provocando um risco de desenvolvimento de asma e outras alergias, especialmente se a exposição for prolongada [151]. Podem ainda ocorrer reações entre os produtos químicos e o solo, provocando a criação de gases perigosos [108].

Óleos – As situações em que se verifica maior concentração de névoas de óleo são: fugas de óleo de sistemas hidráulicos ou falhas de sistemas pneumáticos [120], durante a projeção de óleo para proteger equipamentos de respingos de betão [124], durante a limpeza de moldes de cofragem [120], contaminação por existência de óleos em ar comprimido, ou no caso de problemas de medição de óleos [121]. Este tipo de produtos, corrosivos para a pele, olhos e membranas mucosas [151], pode promover o aparecimento de problemas das vias respiratórias [123], designadamente asma [154].

Gorduras e vedantes – Utilizados em lubrificação de rolamentos, designadamente nas tuneladoras, onde também são utilizados para selagem de escudos, e em máquinas de furação [123].

Condicionadores de solos [127] – Atendendo aos atuais desafios para construir túneis em solos mais heterogêneos e em condições difíceis, este tipo de produtos, essencialmente bentonites, polímeros e espumas [108], são cada vez mais utilizados para suporte de face de escavação em condições de solo instáveis e melhoria de características de escombros para transporte para a superfície, podendo, no entanto, provocar poeiras e irritação na pele [108].

Desincrustantes e desengordurantes [153] – Utilizados para limpeza de superfícies. Provocam irritação na pele e vias respiratórias.

Resinas [127] – Utilizadas para a reparação de betão, podem provocar dermatite [152], sendo irritantes para os olhos, pele e vias respiratórias [127].

Ácidos de baterias – Corrosivos e irritantes, podem provocar queimaduras.

Aceleradores de presa – Atualmente, o acelerador de presa apresenta-se como o principal adjuvante do betão projetado, com o objetivo de originar uma reação química rápida que permita à mistura aderir rápida e eficazmente à base. Os aceleradores de presa têm diferentes formulações e atuam de formas diferentes no processo de ganho de presa e de resistência inicial, dependendo da sua composição química, dosagem, presença de minerais e temperatura. Os aceleradores de presa eram originalmente alcalinos. Embora amplamente utilizados, criavam problemas de segurança, pelo seu pH elevado (na ordem de 13) que, pela névoa cáustica que criava, provocava irritações ou queimaduras nos olhos, nas membranas mucosas e na pele [131]. Os problemas de prevenção, mas também ambientais (de contaminação de águas), gerados por este tipo de acelerador provocaram uma reação na indústria, que exigiu aos fornecedores soluções mais aceitáveis. Surgiram, então, os aceleradores de presa não-alcalinos, no início dos anos 90. Estes ganharam fama pelo seu desempenho e pelas suas superiores condições de prevenção, já que um acelerador não-alcalino tem um pH entre 2,4 e 3,0. A figura 37, retirada (pela sua importância) de um manual de um dos maiores fornecedores de aceleradores de presa, ilustra bem as diferenças de pH existentes entre os dois tipos de aceleradores.

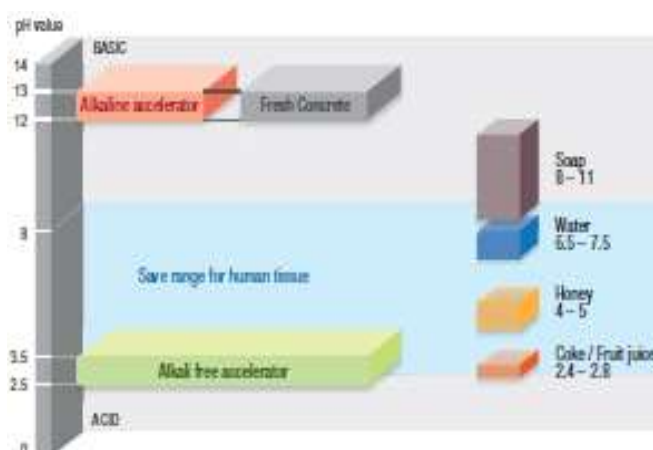


Fig.37-Valores de pH de aceleradores de presa [149]

Os aceleradores de presa não-alcalinos apresentam melhores condições de segurança no transporte, armazenamento e manuseamento e, pelo seu pH reduzido, os riscos de queimaduras ou danos para os olhos ou pulmões são minimizados [149], pelo que assim se tornam recomendáveis [2].

Dos vários ácidos atualmente na base dos aceleradores de presa não-alcálicos habitualmente utilizados, salientam-se três:

- o ácido fluorídrico, o mais perigoso dos três, dado possuir a capacidade de dissolver matéria orgânica. No contacto direto, pode provocar queimaduras de 3º grau e lesões oculares na íris ou na córnea. Por inalação, pode provocar irritação intensa da mucosa nasal ou dos olhos, dor de cabeça, edema da glote ou pulmonar, ossificação dos tendões e osteosclerose;

- o ácido fosfórico, perigoso no contacto direto, por atacar a pele com queimadura química;

- o ácido fórmico, o mais fraco dos três, é aquele que menos danos produz, dado não queimar nem dissolver a pele. No entanto, ainda representa algum grau de perigosidade para os olhos e pele.

Hidrogénio – Ocorre no carregamento de baterias. Incolor, inodoro, sem cheiro, não tóxico.

Solventes [108, 127] – Por contacto com a pele, podem provocar irritação na pele, náuseas, vertigens [108], dermatite e, em caso de exposição prolongada, danos no sistema nervoso, fígado ou rins [153], levando a cansaço, dor de cabeça, tonturas e descoordenação motora [155].

Hidrocarbonetos [127] – Podem ser benzeno, tolueno ou xileno, provenientes de solos contaminados (nas proximidades de estações de serviço ou antigas zonas industriais), derrames de combustíveis no pavimento [127], ou apenas decorrentes de armazenamento. Tóxicos, inflamáveis e asfixiantes, provocam irritação nos olhos e problemas respiratórios [108]. Afetam ainda o sistema nervoso, provocando sonolência e inconsciência, e alguns são carcinogénicos [108].

Propano, butano e acetileno – São utilizados no corte e soldadura e podem formar misturas explosivas no ar [108]. No caso do propano e do butano, que são mais pesados do que o ar, podem acumular-se em pontos baixos.

Fumos de óxidos metálicos [156] – Provenientes de corte ou soldaduras. A sua toxicidade depende da liga utilizada, sendo os componentes principais os óxidos de nitrogénio, ozono, árgon, monóxido e dióxido de carbono, óxidos metálicos e fluoretos [108].

Fibras de polipropileno – As fibras de polipropileno utilizadas, por exemplo, para melhorar a resistência ao fogo, podem tornar-se um risco para a saúde, pela sua reduzida dimensão, para além de poderem prejudicar os filtros de equipamentos [151].

Nanopartículas – Elementos utilizados para melhoria de capacidades de materiais, por ex., para aumento de resistência ou trabalhabilidade de betão. De origem recente, mas com propensão para uma gradual maior utilização, têm a capacidade, por inalação, ingestão ou absorção, de alterar processos celulares, com consequências de foro respiratório, cardíaco, linfático, gastrointestinal ou nervoso, podendo levar horas ou anos a manifestar-se [157].

3.7.8. Rutura de equipamentos ou acessórios (RUTR)

A maior parte dos processos na construção de um túnel implicam a utilização de infraestruturas (para circulação de água, ar comprimido, lamas, betão e bentonites) com pressões de funcionamento potencialmente elevadas [158]. Para tal, são utilizados diversos equipamentos e acessórios em pressão que potenciam o risco de rutura: reservatórios, tanques, botijas, compressores, vasos de pressão, baterias, circuitos (mangueiras, tubos) em pressão e respetivos acessórios (torneiras, válvulas, etc.), e pneus. Logo, existe o perigo de projeção de líquidos a alta pressão [151]. De salientar o caso particular das bombas de betão pronto, com efeito pulsar, em contraste com o compressor, com uma pressão mais uniforme [158]. Nos equipamentos sujeitos a problemas relacionados com rutura, incluem-se também os equipamentos por vácuo, nos quais o eretor de aduelas, utilizado no MET, se integra [108]. A rutura de recipientes, mangueiras ou acessórios, rápida ou progressiva, pode ser originada por desgaste, instalação deficiente, falhas de acessórios, danos originados por ações mecânicas, variações de pressão ou desengate de mangueiras em pressão, com incidência em zonas tradicionalmente mais críticas, como uniões e curvas, que estão mais sujeitas a desgaste [108]. Pode provocar interrupção de abastecimento, com derrame de líquidos, falhas de sistemas de bombagem ou, ainda, libertação repentina e violenta de tubagem [108][108] e respetivo fluido, podendo provocar acidentes pelo chamado golpe de chicote, podendo também provocar incêndio ou explosão [158].

Outra das situações de rutura que pode ocorrer tem a ver com os cabos e acessórios de elevação que, por diversas vezes durante o ciclo de escavação, são utilizados para dar apoio a movimentação mecânica de cargas.

Este tipo de problemas pode ter implicações também produtivas, obrigando à substituição ou reparação de infraestruturas ou acessórios de movimentação de cargas, fazendo dilatar, criticamente e com impacto nas restantes tarefas, o ciclo produtivo.

3.7.9. Queda de blocos/torrões de betão projetado (BLOC)

3.7.9.1. Queda de blocos

Os fenómenos geotécnicos que podem ter impacto na segurança dos trabalhadores poderão consistir numa queda isolada de blocos, no *rockburst* e no desmoronamento do maciço com criação de chaminés. Nesta investigação, apenas será estudado o primeiro aspeto, por ser o mais diretamente ligado a segurança ocupacional. Após a escavação, os blocos constituintes do maciço rochoso, ao serem aliviados do confinamento onde se encontravam, tendem a descomprimir, podendo perder, pontualmente e por ausência de apoio, a sua estabilidade, escorregando ou caindo [36]. Esta patologia revela-se como o modo dominante da instabilidade das escavações subterrâneas [159]. A queda de blocos pode ocorrer na face de escavação, na abóbada ou nos hasteais, em zonas de trabalho ou de circulação, junto à frente de escavação ou em zonas mais fragilizadas das galerias ainda sem revestimento definitivo [37], quer durante a escavação propriamente dita, quer em ações

subsequentes de saneamento mecânico ou manual, inspeção ao maciço e aplicação de soluções de estabilização.

Alguns dos fatores (a ocorrer isoladamente ou ao mesmo tempo) que podem promover a fragilização do maciço e a queda de blocos são:

- Condições geológicas e geotécnicas não previstas [13]. Dá-se o exemplo da execução do emboquilhamento do túnel em zonas com grande inclinação [77], frágeis, fraturadas ou com menor recobrimento [129], dada a possibilidade de ocorrer o risco de queda de blocos de zonas superiores do talude para a zona de acesso ou emboquilhamento [160]. Em termos nacionais, este risco é bastante acentuado na construção de túneis na ilha da Madeira [37].
- Condições hidrológicas não previstas [13], particularmente se o maciço for de fraca qualidade [161].
- Desadequação ou não aplicação atempada de dispositivos de estabilização [37].
- Pegas de fogo, que funcionam como uma ferramenta de corte, devido a acelerações verticais e horizontais que os explosivos produzem.
- Avaria em tuneladora, no sistema de controlo de pressão da frente ou no sistema de injeção de lamas bentoníticas [37].

As consequências poderão variar desde um simples ferimento (porque o bloco isolado caiu e raspou num trabalhador), até ferimentos mais graves ou mesmo a morte, por ferimentos na cabeça ou noutra parte do corpo. Adicionalmente, a queda de blocos pode provocar danos em equipamentos fixos ou móveis, trazendo impactos de foro produtivo, logístico e financeiro.

3.7.9.2. Queda de torrões de betão projetado

Depois da projeção de uma determinada porção de betão (como revestimento primário com funções de controlo de deformações) e, eventualmente ainda durante a projeção, antes de o betão ganhar presa suficiente (algo que pode demorar horas), há o risco de queda de porções/torrões de betão da abóbada (Figura 38) ou dos hasteais para zonas de circulação e de trabalho (podendo atingir trabalhadores ou equipamentos) [77].



Fig.38-Troço de abóbada com queda de betão projetado [162]

Ainda que a porção que caia seja pequena, pode causar ferimentos. Assim, a taxa de avanço, e respectivas consequências logísticas e financeiras, obtida com este método de escavação depende de vários fatores, um dos quais o tempo de espera necessário para entrada em zonas revestidas a betão projetado, após a projeção [149].

O punçamento é o modo dominante de falha nas primeiras horas após a projeção, substituído posteriormente por um modo de falha por flexão, à medida que o tempo progride e as propriedades do betão se alteram [163]. Por esta razão, o controlo da resistência inicial do betão projetado é um elemento chave com influência na segurança e não apenas na produtividade [164]. Assim, interessa estudar os requisitos essenciais para que o betão projetado possa ser aplicado sem ocorrer o risco de deslocamentos [165].

O *Crossrail* implementou, durante a sua intervenção, um sistema de registo para caracterizar as quedas de torrões de betão projetado, tendo verificado que o local onde ocorriam mais quedas era na primeira camada, na abóbada, na zona de cota mais alta [162], pelo que se assume que essa será a zona de maior risco de queda de torrões.

Outro dos riscos decorrentes da aplicação de betão projetado é o risco de ressalto de partículas (ricochete). O ricochete acarreta riscos de ferimentos, pela velocidade elevada que o material pode atingir, para o operador do robô de projeção e para os que estão nas proximidades (por ex., motorista de autobetoneira). De salientar que a projeção de betão por via seca provoca o dobro do ricochete do que por via húmida [149].

Diversos fatores podem minimizar a quantidade de ricochete produzida: a) a escolha do processo (via seca ou húmida); b) a escolha de um acelerador de presa adequado (os aceleradores que aumentam a tixotropia de mistura diminuem o ricochete, ao garantir maior plasticidade ao betão projetado, bem como aumentando a capacidade de fixar as partículas projetadas); c) o ângulo de projeção correto (o ângulo ideal é de 90°, que maximiza a adesão do betão à superfície de contacto); d) a distância de projeção (distância ideal de 2m - a partir daí, aumenta o ricochete); e) um menor *output* de betão; e f) camadas mais finas [149]. Saliente-se que a competência do operador de projeção assume especial importância em muitos destes fatores.

3.7.10. Colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos (CLPS)

3.7.10.1. Colapso de estruturas

Este item diz respeito ao colapso de estruturas fixas ou temporárias, ou de equipamentos, durante a sua montagem, utilização, reparação, manutenção ou desmontagem.

As estruturas sujeitas a este risco são:

- Equipamentos de movimentação de cargas, fixos ou móveis, para a montagem de equipamentos [108];
- Equipamentos de movimentação de cargas para materiais;
- As estruturas temporárias utilizadas para a construção de revestimentos definitivos.

O colapso pode ocorrer por diversos motivos, tais como a falha de apoios, a falta de estabilização própria, e a falta de estabilização de equipamento de elevação de cargas que suporta temporariamente o equipamento.

3.7.10.2. Capotamento de equipamentos

O capotamento de equipamentos móveis pode ocorrer:

- Durante montagem de equipamentos;
- Em circulação, nas proximidades de desníveis [2].

O capotamento pode ocorrer por aproximação intempestiva de equipamentos a bordaduras de taludes ou escavações e também por cedência dos apoios, por ex., sapatas de estabilização.

3.7.11. Queda ao mesmo nível/em altura (QUED)

As quedas e escorregamentos são uma causa maior de acidentes em túneis [131], podendo causar ferimentos significativos aos trabalhadores [166]. Para além da própria postura do trabalhador, que pode levar a quedas (por exemplo, quando está curvado, de joelhos ou agachado) [167], diversos fatores não humanos podem promover um elevado risco [168]. Entre estes, encontram-se: o ambiente de trabalho, especialmente se for húmido e quente [131], o fraco estado de pavimentos e superfícies de trabalho, escadas e degraus, as condições do terreno, as diferenças de nível, a iluminação deficiente, as condições atmosféricas adversas, e a habitual movimentação manual de cargas [106].

3.7.11.1. Queda ao mesmo nível

Em OS, os fatores que podem dar origem a quedas ao mesmo nível são:

- Pavimento irregular [80], com blocos soltos, designadamente porque a escavação, nomeadamente ao nível do solo, não permite uma secção transversal regular;
- Presença de águas de maciço rochoso, levando a pavimentos escorregadios [129];
- Fraca arrumação de pavimentos [106];
- Infraestruturas de apoio a frente de escavação depositadas em pavimento [129];
- Diversos pequenos obstáculos que podem aparecer no pavimento;
- Deficiências na iluminação de vias de circulação.

De referir que, geralmente, as quedas ao mesmo nível encontram-se associadas a lacunas na organização e arrumação de estaleiro [106], anomalias muito características deste tipo de obras, dada a limitação de espaço e a existência de variados materiais e equipamentos a utilizar.

De salientar a movimentação manual de cargas, que pode aumentar o risco de quedas. Dadas as dimensões e o peso da carga, muitas vezes consideráveis, e que podem perturbar o equilíbrio do trabalhador, a obstrução da visão do trabalhador pela carga faz aumentar o risco de escorregamento/tropeçamento, designadamente na transposição de obstáculos [106]. Este efeito direto pode ser relacionado com o facto de uma postura corporal instável estar identificada como um dos principais fatores que alimenta o risco de queda [167].

É sabido ainda que a ocorrência de quedas está relacionada com o comprimento do objecto [166]. Faz-se, nesta fase de estudo, uma transposição desta ideia para a obra subterrânea, pensando nas peças de longo

comprimento e pequena secção a movimentar (enfilagens ou pregagens), que obrigarão a uma consideração mais atenta da sua influência nas quedas e da sua interferência, pelo seu comprimento, nos trabalhos em curso. Saliente-se ainda que os escorregamentos e deslizamentos resultam num número significativo de problemas musculoesqueléticos, designadamente na zona lombar [169].

3.7.11.2. Queda em altura

Apesar de existirem diversos estudos para o setor da construção, a maior parte aplica-se à construção de edifícios, referindo os locais onde ocorrem mais quedas, como: andaimes, aberturas de pavimentos, coberturas, deslocamentos para pisos inferiores, aberturas em telhados e coberturas [106]. No entanto, nas OS, este tipo de locais de risco não são muito comuns.

Nas OS, a queda em altura tem mais risco de ocorrer em pavimentos com falta de organização ou escorregadios, bordaduras de poços, torres de escada, desníveis de frente de escavação ou junto a rebaixos para execução de sapatas, durante trabalhos com plataformas elevatórias ou escadas, montagem, utilização e desmontagem de estruturas temporárias para revestimentos definitivos [80], plataformas de trabalho para montagem de aduelas, montagem e desmontagem de tuneladora [80] e operações de manutenção de equipamentos fixos ou móveis. A queda pode, ou não, ser precedida de escorregamento [168].

3.7.12. Problemas musculoesqueléticos (PMES)

As perturbações musculoesqueléticas podem ser tratadas como AT ou como DP: se forem resultado de um movimento onde o esforço excedeu o normal, é um AT; se forem decorrentes de longas exposições a fatores ocupacionais, são consideradas DP [170].

Os problemas de foro musculoesquelético podem ocorrer por:

- a) Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (conduzindo geralmente a lesão externa) - Existe um movimento do próprio corpo, voluntário ou não, sem haver necessidade de um esforço físico especial, estando o sinistrado sujeito a uma lesão corporal, geralmente externa. Pode ser contacto com objeto móvel, imóvel ou em queda (ferramenta, equipamento ou outro tipo) que seja impactante (provocando entalamento ou esmagamento), cortante (provocando corte) ou perfurante (provocando furação ou enucleação). Pode provocar lesões externas, tais como cortes, lacerações, enucleação, hematomas, perfurações, queimaduras e ferimentos nos olhos.
- b) Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (conduzindo geralmente a lesão interna) - Existe movimento que implica um esforço físico importante em relação ao normal por parte do sinistrado. Pode ocorrer quando uma pessoa se fere a nível musculoesquelético ao levantar-se, baixar-se, ajoelhar-se, virar-se, ou ao dar um passo em falso avançando ou recuando (mas sem queda), de maneira intempestiva, que provoca lesão interna (mas sem haver transporte de qualquer carga nem manipulação de qualquer objeto): os vulgarmente designados “movimentos em falso”. Pode também ocorrer ao manipular uma carga, levantando-a, segurando-

a, puxando-a, empurrando-a ou arrastando-a, depondo-a, manipulando-a em rotação ou torsão. De salientar que as perturbações musculares deste tipo têm como principais fatores ocupacionais o trabalho prolongado na mesma posição, dobrar ou rodar em esforço, trabalhar em posição de esforço, trabalhar quando magoado, e carregar materiais ou equipamentos pesados.

Os problemas musculoesqueléticos têm como consequência dores, sensação localizada de peso, fadiga ou desconforto, perda de força, dormência ou formigueiro, distensões musculares e entorses, que podem ainda acelerar o cansaço e prejudicar o controlo motor e a precisão de movimentos [171]. De salientar as dores dos membros superiores [108], ou as de foro lombar, que provêm de esforços de levantar, dobrar e rodar, ou posições estáticas em esforço, que potenciam problemas de coluna vertebral [169] (uma das partes do corpo mais frequentemente atingidas, a par dos ombros e pescoço, membros superiores e joelhos). Em termos das consequências das lesões, a falta de tempo de recuperação pode impedir a recuperação do sinistrado no tempo previsto, ou mesmo agravar a situação.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) listou fatores que contribuem e agravam o desenvolvimento de problemas deste foro. São eles: fatores individuais (herança genética, doenças), condições ambientais, fatores externos ao trabalho (tipo de vida, atividades de lazer, atividades domésticas) [172] e características antropométricas (principalmente a altura) [173]. Podem ainda ser exacerbados por fatores tais como vibrações ou baixas temperaturas. No setor da construção, os trabalhadores estão em risco de contrair este tipo de problemas, dado estarem frequentemente em posições de esforço e em movimento de dobrar, ajoelhar ou movimentar cargas manualmente. As particularidades da obra subterrânea agravam a situação, pelo facto de ser um espaço confinado [83], potencialmente quente e húmido, e pelas (muitas vezes) longas jornadas de trabalho.

Em OS, os trabalhos onde existe maior risco de ocorrência de problemas musculoesqueléticos são:

- Circulação em pavimentos irregulares, que propiciam lesões ao nível do tornozelo e joelho [174];
- Operações de montagem, desmontagem, reparação ou manutenção de equipamentos fixos ou móveis, designadamente britadeiras, tapetes transportadores, ventiladores e pontes rolantes ou infraestruturas [175];
- Movimentação mecânica ou manual de cargas [166] (ferramentas, equipamentos ou materiais, de forma, tamanho e peso variável, sendo muitas vezes assimétricas, disformes, com bermas cortantes, de elevado peso ou sem ponto de pega adequado), afetando o procedimento a tomar para a sua movimentação [106]), designadamente por instabilidade ou queda de carga [129]. O mesmo pode ocorrer também por dificuldades de visualização de trajeto de carga [176].
- Queda de materiais ou ferramentas [93];
- Manuseamento de ferramentas de mão, uma das maiores causas de AT em Portugal nos últimos anos [80]. Exemplos são as barras de saneamento e as alavancas [177], ou o contacto com material rolante;
- Montagem de estruturas provisórias para revestimentos definitivos (impermeabilização, armaduras e cofragem);

- Montagem de dispositivos de estabilização;
- Montagem de aduelas pré-fabricadas para revestimento final;
- Impacto de multicarregadora em abóbada devido a elevação exagerada;
- Lavagem de circuito de robô de projeção de betão: na limpeza de mangueira de projeção de betão com ar comprimido, a bola/esponja utilizada pode sair a alta velocidade;
- Mudança de discos de corte em cabeça de corte de tuneladora [2], com elevado peso;
- Adoção de posturas pouco ergonómicas (típicas neste tipo de obra). Em estudos realizados num túnel, verificou-se que as posições mais frequentes são não-neutras em termos de tronco (observadas em quase todas as operações, mas salienta-se a montagem de cofragem e betonagem, que envolvem posturas não-neutras em mais de 40% do tempo de trabalho), com impacto maioritariamente na coluna. Salientem-se também as operações que implicam o elevar de braços por cima da cabeça, típicas em obras subterrâneas, tais como as assumidas para montagem de dispositivos de estabilização, que provocam ou exacerbam distúrbios ao nível do ombro [174]. Também se registam posições de joelhos e de cócoras [178], que têm vindo a demonstrar ser um importante fator de problemas musculoesqueléticos, particularmente afetando costas, joelhos e tornozelos [178]. O trabalho prolongado em cabine, caso esta não seja adequada, pode causar problemas, pela postura em esforço que o condutor tem de assumir. Também é típico ocorrerem operações repetidas, que requerem apertos ou rotação de pulsos [108].
- Fatores psicossociais: esta relação entre problemas musculares e fatores ocupacionais psicossociais tem vindo a ser explorada, existindo já algumas evidências de correlacionamento entre as duas, designadamente porque os músculos assumem tensões elevadas derivadas de fatores psicológicos [169] e porque os fatores psicossociais podem reduzir a tolerância à dor [169].

Alguns dos fatores ocupacionais são organizacionais [173], mas de gestão complexa. Nem sempre a análise e caracterização da atividade é simples, dado existir uma falta de rotina em termos de local e tempo. Além disso, o trabalhador realiza uma panóplia de tarefas diferentes, em locais diferentes, sob orientações diferentes [179]. Por exemplo, um trabalhador que desempenhe funções de condutor-manobrador no MEC, quando não está a manobrar equipamento (por este não ser necessário no momento), desenvolve habitualmente tarefas de manutenção ou apoio à montagem de dispositivos de estabilização.

3.7.13. Atropelamento (ATRP)

O risco de atropelamento chamou sempre a atenção, dado ser a causa de diversos acidentes, mas nem sempre os cuidados foram os que existem atualmente. A Figura 39 exemplifica as fracas condições em que era realizado o transporte de trabalhadores para as frentes de trabalho há várias décadas.

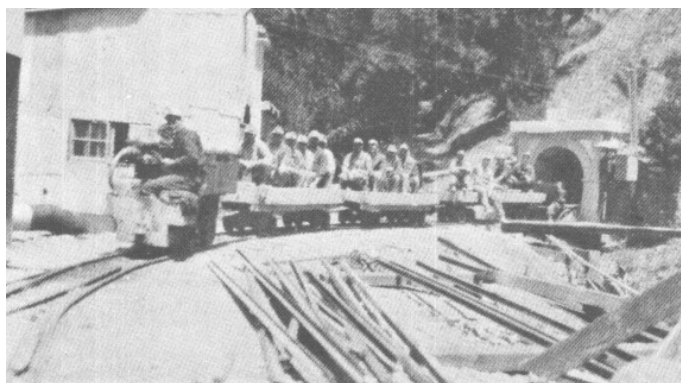


Fig.39-Transporte de trabalhadores [180]

As obras subterrâneas, com o seu aumento progressivo de comprimento, requerem cada vez mais diversos equipamentos móveis (*dumpers*, locomotivas, vagões, caminhões, pás-carregadoras) para transporte de pessoas e materiais, muitas vezes a longas distâncias [57]. No espaço confinado e exíguo do túnel [2], a visibilidade é, por vezes, insuficiente e o risco de colisões entre trabalhadores e equipamentos é elevado [181]. A existência de ângulos mortos nos equipamentos agrava este panorama [1]. Em caso de acidente, naturalmente e por uma questão de inércia relativa que impede uma reação rápida por parte do manobrador [2], o equipamento permanecerá inalterado e o trabalhador ficará ferido.

A relevante experiência dos túneis transalpinos confirma que a maior parte dos acidentes em OS são relacionados com trânsito e transporte [131]. Este risco é agravado pela eventual reduzida visibilidade por presença de poeiras [108]. Também relativamente a este risco, é de especial importância levar em conta que os trabalhos desenvolvidos em zonas distantes da face de escavação (por ex., drenagem, impermeabilização, infraestruturas) serão afetados pela movimentação de equipamentos de e para a frente de escavação, com consequente aumento de risco de atropelamento. Por exemplo, quando o transporte de terras da frente de escavação é feito por subcontratados, o que é frequente, estes estão vinculados a prazos rigorosos para cumprimento de datas, o que geralmente não ajuda ao cumprimento do limite de velocidade estipulado nas zonas afastadas da face de escavação [182], aumentando assim o risco de atropelamento.

3.7.14. Contacto com agentes biológicos (BIOL)

Os agentes biológicos são microrganismos capazes de originar qualquer tipo de infeção, alergia ou toxicidade para o corpo humano. Os solos podem possuir diversos tipos de contaminação [2], suscetíveis de afetar o corpo humano, entrando no corpo através do sistema respiratório, da pele e das mucosas [183], na sequência de cortes e abrasões [108], ou por ações das próprias pessoas, como esfregar os olhos [2]. O contacto com solos ou águas contaminadas [108] pode ocorrer na sequência de escavação em zonas de depósitos de materiais perigosos, ou por rutura de condutas existentes no local de escavação [108].

Os trabalhadores expostos estão sujeitos à possibilidade de aparecimento de leptospirose [108]. Trata-se de uma doença bacteriana, frequentemente transmitida por contacto de pequenas lesões na pele ou mucosas com

água infetada e por consumo de água ou alimentos infetados por urina de animais, especialmente ratazanas. Esta doença tem como sintomas principais a febre de início abrupto [108], as cefaleias, a conjuntivite, a tosse seca, a dispneia, as dores musculares e articulares e a insuficiência renal aguda [153].

De salientar, também, é a contaminação por Legionella, uma bactéria muito perigosa [131], presente em terrenos húmidos, lagos ou cursos de água naturais [184], e que se desenvolve muito rapidamente a temperaturas entre 25° C e 45° C [131], em águas estagnadas – meios favoráveis a formação de depósitos de calcário ou filme biológico. A contaminação, que depende da imunidade da pessoa, bem como da duração e intensidade do contacto, ocorre por inalação de bactérias transportadas nas finíssimas gotículas de água em suspensão no ar [108]. Pode ocorrer durante a utilização de sistemas de refrigeração e circulação de água ou circuitos fechados de água [184], tuneladoras equipadas com escudo a bentonites [184], duches, purificadores de ar, aparelhos de limpeza a alta pressão, cortinas de água para bloqueio de poeiras, humidificação de superfícies a projetar, nebulização de cabeça de escavação e projeção por via húmida. Pode provocar dois tipos de doenças: a doença dos legionários (com febre elevada, cefaleias intensas, dores musculares, tosse grave, respiração difícil, problemas gastrointestinais, problemas neurológicos e potencial pneumonia) ou febre de Pontiac (com sintomas semelhantes, mas mais ligeiros).

3.8. Fatores ocupacionais

Para a organização da identificação dos fatores ocupacionais, tomou-se como base os cinco fatores mais habitualmente descritos na literatura: Ruído, vibrações, temperaturas extremas/radiações, ambiente pressurizado, stresse.

3.8.1. Ruído (RUID)

O ruído é um risco físico agravado na obra subterrânea, pelo facto de se utilizarem diversos equipamentos pesados móveis e fixos [83] num espaço confinado e de paredes compactas, característica que aumenta a reverberação do campo de som [108]. As fontes principais de ruído são os equipamentos de escavação [83] (quer os jumbos de furação, quer as cabeças de corte de tuneladora ou roçadoras), os equipamentos pneumáticos [109], os equipamentos de britagem [83] e descarga de escombros (como os tapetes transportadores [108]), os robôs de projeção de betão, os compressores [109], os ventiladores de sistemas de ventilação [109], os sistemas de ar comprimido ou de bombagem, as locomotivas [108] e os vibradores de moldes de cofragem. Os efeitos sobre a audição podem ser imediatos ou a médio/longo prazo, e apresentar-se como dificuldades de audição iniciais, zumbidos [108], aumento de pulsação, aumento de pressão arterial [185] e, no caso de exposição prolongada a ruído intenso, perda permanente de audição. O ruído cria ainda problemas de concentração e de limitação da audição de sons importantes, diminuindo a capacidade da pessoa em estar atenta, por ex., para seguir as instruções dos sistemas de segurança previstos, ou disfarçando mesmo alarmes sonoros [108]. Consequentemente, abranda o ritmo de trabalho [137] e tem um impacto negativo no

desempenho [186], contribuindo assim para a ocorrência de AT. É importante referir ainda que, mesmo se o efeito do ruído não for necessariamente observado imediatamente após a exposição, pode alterar a estrutura do sono subsequente [186] e, conseqüentemente, aumentar o cansaço e diminuir o ritmo de trabalho. Geralmente, um trabalhador com longa experiência em furação e detonação tem problemas de audição [154] e menos reação a níveis sonoros mais elevados, devido a habituação [186]. A este respeito, convém realçar que, muitas vezes, se torna difícil avaliar qual o impacto do ruído nos trabalhadores, dado estes já terem antecedentes de perdas auditivas [109].

3.8.2. Vibrações (VIBR)

As vibrações são movimentos periódicos, transmitidos a diferentes partes do corpo [121], e que criam riscos para a saúde. As patologias mais correntes associadas a vibrações são, consoante a distribuição da energia pelo corpo, o WBVS (síndrome de vibração do corpo inteiro) e o HAVS (síndrome de vibrações mão-braço) [187].

3.8.2.1. Vibração do corpo inteiro

Os equipamentos usados em subterrâneo para furação (por ex., tuneladoras para rocha dura [127]), e carga de escombros são fontes potenciais de WBVS, através de pés e assento [187], pela ressonância e amplificação de vibrações [121], muitas vezes agravadas pela irregularidade dos pavimentos [123]. Saliem-se três equipamentos. No caso de escavadora giratória utilizada para carregamento de escombros, as operações são muito instáveis, acidentadas e sem padrão definido [188]. No caso da pá carregadora, utilizada para carregamento de escombros, as vibrações costumam ser mais díspares, porque o ciclo de movimentos é bastante irregular [188]. As pás carregadoras podem ainda apresentar valores de vibração mais elevados quando não possuem carga, comparativamente com a altura em que a vão transportar [189]. No caso dos *dumpers*, o impacto é maior em transporte do que em carregamento de materiais [190], apresentando geralmente padrões de vibração relativamente uniformes [188], de compressão/expansão de discos intervertebrais [191]. Para além destes equipamentos, os equipamentos usados para transporte de trabalhadores para a frente de escavação também podem ser alvo de vibrações, designadamente pelas irregularidades do pavimento.

Em termos de conseqüências, as partes do corpo mais passíveis de serem atingidas dependem da distribuição da energia no corpo que, por sua vez, depende da frequência da vibração, da intensidade (amplitude, velocidade e aceleração), do tempo de exposição [192], do eixo e da posição do corpo relativamente à fonte [108]. Geralmente, a parte mais afetada é o pescoço [175] e a coluna vertebral [169], principalmente em termos de dores e degenerescência de coluna e hérnias discais [189]. Também provoca problemas de sono e dores

de cabeça [193]. Pode ainda ter efeitos no sistema nervoso, circulatório, gástrico e audio-vestibular [187], e ter um impacto negativo em termos de eficiência [188].

3.8.2.2. Vibrações mão-braço

O HAVS é provocado por vibrações mecânicas transmitidas do equipamento para o sistema braço-mão. Atualmente, as técnicas de furação evoluíram e já quase não se utiliza escavação manual como há década atrás. No entanto, permanecem algumas atividades onde se encontra este risco: utilização de equipamentos com partes vibratórias [151], tais como ferramentas pneumáticas manuais, usadas para escavação manual ou para aperto de dispositivos de estabilização [194][194] betão armado em ligações transversais, ou vibradores de betão [194]. Pode ainda ocorrer por trabalhos que decorrem em locais que vibram [108].

Este tipo de vibrações afeta os membros superiores [108] e apresenta riscos para vasos sanguíneos, esqueleto, articulações, nervos e músculos [151]. Provoca dores, rigidez [195] e perda de sensibilidade nos dedos [108], com posterior incapacidade para realizar trabalhos manuais de precisão. As pontas dos dedos podem ficar brancas e depois vermelhas [127], designadamente em ambientes frios ou húmidos, propícios ao aparecimento destes sinais [195]. As vibrações podem também provocar síndrome de canal cárpico [195]. Algumas destas perturbações aparecem apenas alguns meses após a exposição, outras podem levar anos a manifestar-se [153].

3.8.3. Temperaturas extremas/radiações (TEMP)

3.8.3.1. Temperaturas extremas

As mudanças de temperatura do ar podem implicar ajustamentos no corpo humano, modificando parâmetros fisiológicos que podem influenciar a sensação de conforto térmico e, assim, decrescer a performance. O efeito do calor é exacerbado pelo trabalho físico (típico neste tipo de obras), que provoca aumento de pulsação e direcionamento do sangue para os músculos ativos, por vasoconstrição noutras zonas do corpo.

Para além do próprio trabalho que, realizado em esforço, promove o aumento de temperatura corporal, existem outros fatores nas OS que podem provocar o aumento de temperatura. Este fenómeno ocorre:

- por calor produzido durante o corte de maciço e trabalhos a quente [109];
- pelo aumento da profundidade do túnel [2];
- por passagem de ar nas paredes do túnel. O ar aumenta de temperatura por aumento da temperatura da rocha [108], devido ao aumento de profundidade do túnel, sendo que, sem sistema de ventilação, este pode atingir temperaturas entre 40° e 50°C [196];
- devido ao funcionamento de equipamentos móveis ou fixos [196], elétricos ou mecânicos [109];
- pela hidratação do betão aplicado em revestimentos primário e definitivo [131];

- pela utilização de equipamentos de proteção individual desadequados [19] e que aumentam a temperatura do corpo;
- por calor dissipado de subestações, luzes, cabos elétricos e motores [109];
- por ação de explosivos [108];
- pela existência de ambiente pressurizado[19]. O trabalho em ambiente pressurizado é mais exigente fisicamente do que o trabalho à pressão atmosférica, e aumenta o risco de tensão por calor, particularmente quando está a ser feito trabalho manual [197]. Se já em ambiente normal se torna difícil prever a resposta do corpo humano ao calor, em ambiente hiperbárico esta dificuldade agrava-se [198].

A subida da temperatura do corpo humano tem os seguintes efeitos:

- Numa fase inicial, aumento de pulsação; sudação [108]; desconforto; fadiga; cansaço; perda de concentração; letargia; diminuição de capacidade de raciocínio e rendimento de trabalho; quebra de tensão; e câibras musculares. Tudo isto pode dar origem a absentismo, eventuais erros e perda de produtividade [199].
- Quando são ultrapassados os limites físicos de cada pessoa, podem ocorrer: tonturas; formigueiro nas mãos; falta de ar; palpitações; dor de cabeça; visão turva; náuseas; perda de consciência; danos nos rins, fígado e cérebro; e golpe de calor (que pode ser fatal) [198]. A exaustão por calor, ou golpe de calor, pode ser grave e é um verdadeiro cenário de emergência, difícil de diagnosticar, por vezes. A sobrevivência da vítima depende da rapidez da chegada do tratamento médico [200].

Dado que a ambientação, a tolerância ao calor e a resposta individual fisiológica e comportamental ao calor e ao frio é uma característica individual [148], as condições em que ocorrerá cada uma das consequências em cada uma das pessoas são imprevisíveis [200]. Fatores individuais, como a forma física, podem influenciar a capacidade de tolerância ao calor [200]. Algumas doenças pré-existentes podem agravar o efeito do calor [196]. Mas nem só as temperaturas elevadas provocam problemas. As temperaturas baixas também podem trazer perigos, designadamente quando associadas a vento [155]. Este tipo de exposição, embora menos típica, ocorre por aparecimento de correntes de ar em túneis já varados, por aumento de altitude (Figura 40), por aparecimento de água ou humidade a temperaturas baixas [201] (quando entra em contacto direto com trabalhadores [121], causando um desconforto que pode ser relevante, principalmente no caso de o trabalhador não poder trocar de vestuário num curto espaço de tempo) ou por realização de congelamento de solos [127].



Fig.40-Neve junto a emboquilhamento [35]

As consequências do frio para o homem podem ser a perda rápida de calor corporal, a falta de circulação sanguínea nas extremidades [127] (dada a necessidade de preservação de temperatura normal em órgãos internos [202]), a hipotermia, alterações comportamentais e deterioração de performance de músculos [203]. Saliente-se, ainda, o risco que pode existir devido ao diferencial de temperatura entre uma face de escavação (por exemplo a 24°C) e o ambiente exterior ao túnel (que poderá ser de calor ou frio extremo), perfazendo diferenciais de temperatura que chegam a exceder os 30°C no trajeto entre a face de escavação e o emboquilhamento. A reação do corpo humano manifesta-se por transpiração, fadiga ocular, tonturas e pulsação acelerada.

3.8.3.2. Radiações

As radiações podem ser do tipo: a) ionizante (ondas alfa, beta ou gama), ou b) não-ionizante.

a) Fontes de radiação do tipo ionizante:

- Aparelhos que emitem raios gama, raios ultravioleta de soldadura, raios-X (a maior fonte de radiação para humanos [155]);
- Presença de radão [121], gás inerte radioativo. Apresenta-se sob a forma de partículas solúveis na água, da qual é libertado quando em contacto com o ar, podendo percorrer longas distâncias em linhas de água subterrâneas. As partículas podem entrar no corpo por inalação [108], depositando-se nos pulmões [201]. Depois de decomposto, e quando exposto ao ar, se inalado, provoca riscos para a saúde, incluindo o risco de aparecimento de cancro [204].

As radiações ionizantes (sendo as mais gravosas as do tipo gama, dado que penetram na pele e tecidos) podem ionizar e danificar as células. Pode não haver efeitos, ou a célula pode sobreviver, mas anormal, temporária ou permanentemente. Em alguns casos, essas células afetadas podem tornar-se malignas [155], aumentando o risco de cancro a longo prazo [108]. Os efeitos, ainda que dependendo da dose, podem ser diferentes, consoante a exposição seja aguda (náuseas, vômitos, queimaduras e bolhas), ou crónica (anemia, leucemia, problemas da função reprodutora).

- b) Fontes de radiação não-ionizante (sem energia suficiente para alterar a composição química das células):
- fontes de infravermelhos, como lâmpadas e lasers [155], microondas e radiofrequências (dos sistemas de comunicações);
 - ultravioletas (luz solar, soldadura de arco elétrico), e radiações de muito baixa frequência (como linhas de energia e cabos elétricos).

As radiações não-ionizantes podem provocar problemas nos olhos e na pele, pois os olhos e a pele absorvem essas radiações sob a forma de calor.

3.8.4. Ambiente pressurizado (PRES)

Os trabalhos em ambiente pressurizado, ou hiperbárico, ou seja, a pressões superiores à pressão atmosférica de 1bar, são realizados há mais de 170 anos na construção, para afundar caixões e para trabalho em túneis, tendo sido aplicados pela primeira vez em 1851 [197]. No entanto, anteriormente, os trabalhadores eram sujeitos a pressões elevadas e que seriam inaceitáveis nos dias de hoje [197].

A aplicação de pressão de ar tem como objetivo, em situações em que este problema não pode ser contornado por outro meio, controlar a estabilidade do solo, equilibrando a pressão da água, e prevenindo o ingresso desta por aumento de resistência de solo [127], garantindo o mínimo de assentamento à superfície [197]. Numa época inicial, era necessário usar uma tuneladora de modo aberto e pressurizar o túnel inteiro [197]. O uso de tuneladoras de modo fechado, uma evolução técnica bastante importante, permitiu reduzir consideravelmente o número de exposições [197]. O risco de trabalhos sob pressão encontra-se, então, associado aos trabalhos de inspeção, reparação ou manutenção de ferramentas de corte junto a face de escavação [2] (Figura 41).



Fig.41-Manutenção de discos de corte [205]

A substituição de discos de corte e manutenção da respetiva cabeça tem um impacto no rendimento e duração de ciclo de escavação, dado poder representar uma relevante percentagem do tempo total de atividade da tuneladora.

Como o corpo humano não suporta naturalmente variações de pressão, tem de se seguir um conjunto restrito de procedimentos, baseados em paragens para compressão e, no sentido inverso, descompressão. O meio geralmente utilizado é a câmara de compressão/descompressão (Figura 42).



Fig.42-Câmara de compressão [127]

Após passagem por esta câmara de compressão, os trabalhadores deslocam-se para a câmara de escavação que se encontra pressurizada (Figura 43).



Fig.43-Intervenção em discos de corte [206]

Saliente-se que qualquer falha neste balanço de pressões pode levar a instabilidade, com consequências relevantes não só para quem trabalha na câmara de escavação mas também para quem estiver nas proximidades [197].

A tendência atual é os túneis serem escavados mais fundo, em solos fracos e na presença de água com pressões mais altas (sempre mais altas na abóbada do que na soleira) [75], o que pode aumentar o risco de exposição a pressões elevadas. Atualmente, alguns túneis são escavados com apoio de ar comprimido em alta pressão, que consiste em pressões acima de limites legais em vigor, geralmente acima dos 3,5 bar, e em que são utilizados equipamentos específicos, misturas para respiração sem ser o ar natural (por exemplo, nitrogénio

e oxigénio, hélio e oxigénio e oxigénio, nitrogénio e hélio) e podendo envolver técnicas de saturação, que podem implicar alguns dias em ambiente saturado após a compressão. Sendo o trabalho em ambiente saturado, o trabalhador tem de viver pressurizado em habitats naturais à superfície alguns dias e é transportado para o interior do túnel em equipamentos pressurizados (Figura 44).



Fig.44-Contentor de transferência em ambiente pressurizado [207]

Este tipo de técnica tem transferido muito do conhecimento da indústria de mergulho [75]. Estão cerca de 15 a 20 projetos em curso em todo o mundo [127], sendo que, no túnel de Southern Nevada Water Authority, terminado em 2014, a tuneladora esteve sujeita a pressões de 15 bar, ultrapassando o anterior recorde do túnel de Hallansas, terminado em 2013, e onde se lidou com 11bar.

A principal consequência da exposição a trabalhos sob pressão é, após a redução da mesma, o síndrome de descompressão [208]. Ao trabalhar em ambientes com uma pressão superior à normal, o trabalhador recebe, ao respirar, grandes quantidades de oxigénio, azoto e outros gases. O oxigénio é gasto pelo corpo, não se acumulando, portanto. Mas o azoto e outros gases acumulam-se no corpo, dissolvendo-se no sangue e tecidos. A única forma de serem eliminados do corpo é através dos pulmões, processo que pode ser lento. À medida que a pressão exterior vai diminuindo, o que acontece à saída da câmara de pressão, a pressão no sangue pode não ser suficiente para manter os gases dissolvidos e, por isso, formam-se bolhas que podem obstruir a passagem do sangue [209].

Os sintomas associados a descompressão inadequada aparecem normalmente entre poucos minutos e algumas horas depois da exposição, podendo acontecer até 48h, em casos pontuais [197]. A doença de descompressão pode assumir a forma crónica (geralmente mais incapacitante que a aguda), com aparecimento de sintomas passados meses ou anos [197], manifestando-se como lesões nos topos e cabeças dos ossos longos, com consequentes dores nas articulações podendo levar a incapacidade grave. Os sintomas do síndrome de descompressão aguda são erupções na pele [208], manchas, dormência, vertigens, paralisia, distúrbios visuais, inconsciência e convulsões [108]. Mais tardiamente, pode aparecer necrose óssea ou, menos frequentemente, prurido [108]. Para apoio a eventuais eventos de descompressão, é utilizada uma câmara

hiperbárica no exterior do túnel. A câmara de descompressão (Figura 45) consiste num equipamento, para utilização em caso de emergência como resultado de um incidente em ambiente pressurizado.



Fig.45-Câmara hiperbárica [210]

A descompressão deve ser realizada sob orientação de tabelas de descompressão reconhecidas [127]. A descompressão por oxigénio é uma técnica usada em muitos países para aumentar a eficácia da descompressão [127], particularmente no caso de pressões mais elevadas e mais prolongadas. Na descompressão por oxigénio, respira-se oxigénio puro, através de máscaras, durante o último período de descompressão. Deve-se, no entanto, tomar em conta que oxigénio em demasia pode levar a redução da função renal, danos na retina e, em casos extremos, convulsões [127].

3.8.5. Stresse (STRS)

O conceito teórico dos riscos psicossociais foi lançado pela Organização Mundial de Saúde em 1984: condições de trabalho, relacionadas com a organização, o tipo e a quantidade de trabalho, que podem afetar o bem-estar e a saúde (física, psicológica e social) de trabalhadores, bem como a sua produtividade. O conceito tem vindo a evoluir consoante o progresso do seu estudo, mas baseando-se sempre na sua essência de interação entre trabalho e trabalhador, e os riscos para a sua saúde, derivados do ambiente psicossocial envolvente. Este tipo de riscos tem uma visibilidade fortemente condicionada, não só porque exige que os trabalhadores os declarem e assumam, mas também porque a sua origem pode estar relacionada com fatores externos ao trabalho. Assim, não assume a mesma visibilidade e expressividade que os números de AT ou DP.

Estes novos desafios, que influenciam o dia-a-dia das empresas e de todos os seus elementos, criam dificuldades de equilíbrio entre a vida profissional e a vida privada, promovendo também o aparecimento e evolução de perturbações físicas e psicológicas diversas [2]. Dentro destes, é de realçar o stresse relacionado com o trabalho [211].

Salientam-se agora alguns dos fatores que podem promover o aparecimento de stresse:

- Novos tipos de contratos de trabalho [2];

- Equipas subdimensionadas, com conseqüente necessidade de aumento de flexibilidade e intensificação de tarefas, com elevado grau de exigência [2];
- Turnos, designadamente os prolongados. De realçar a influência dos turnos noturnos, prática habitual neste tipo de obras, que representam um desafio para o corpo humano, ao afetarem o relógio biológico dos trabalhadores [127]. O problema é que o corpo é obrigado a ter um desempenho ótimo quando as funções biológicas e psicológicas estão no seu nível mais baixo [186]. Do mesmo modo, o sono diurno, numa altura em que seria suposto o corpo estar acordado, conduz a um sono mais curto e de pior qualidade [186]. Estudos sobre turnos rotativos referem que a qualidade de sono diurno não é tão boa como a do sono noturno [212]. Este desvio dos horários “normais”, considerando que o sono está associado diretamente ao restabelecimento e rejuvenescimento do corpo e à renovação psicológica, nomeadamente dos processos mnemónicos e de aprendizagem, pode levar a problemas. Estes são diferentes de pessoa para pessoa, consoante o seu relógio biológico [213]. Os turnos encontram-se ainda associados a doenças cardiovasculares e problemas gastrointestinais [214]. A fadiga e o cansaço reduzem o nível de concentração e o desempenho físico e mental, criando assim condições para um maior nível de risco de ocorrência de AT. O número de horas trabalhadas no turno não é o único fator que leva a problemas, sendo que fatores individuais e ambientais também são relevantes. Para os trabalhadores mais velhos, o impacto pode ser maior, dado que a idade potencia os efeitos adversos do trabalho por turnos [186]. Finalmente, saliente-se que o trabalho em subterrâneo é direcionado para a obtenção da maior produtividade, o que implica turnos com mais horas [175];
- Fraca cultura organizacional, inadequadas relações interpessoais, pouco relevante papel na organização, poucas perspetivas de desenvolvimento de carreira [215];
- Trabalhos com elevada carga física, muitas vezes subvalorizados e associados a grande exigência psicossocial [169].

O impacto do stresse na qualidade de vida é uma realidade e tem a particularidade de não se poder medir a dor, o desânimo ou a angústia do trabalhador. No entanto, os seus efeitos são visíveis. O stresse pode apresentar um amplo leque de conseqüências, cuja ocorrência depende do equilíbrio mental, físico e emocional do trabalhador:

- Problemas físicos, como dores nas costas, designadamente lombares. A OIT identificou também perturbações gástricas, doenças de pele, hipertensão e doenças cardiovasculares [215].
- Problemas psíquicos, como alterações mentais. Diversos autores referem perturbações do comportamento e cognitivas, alterações emocionais, ansiedade, depressão, esgotamento e *burnout* [215].

Para além do impacto individual, também há impacto na empresa, através de presentismo (presença física do trabalhador no local de trabalho, mas sem condições para realizar o trabalho), conflitos, baixa produtividade, e abandono voluntário, com o respetivo impacto associado em custos de produção. Cria-se também a suscetibilidade a erros e acidentes, prejudicando a produtividade, a capacidade para trabalhar e a qualidade de vida [216], podendo ainda estimular o consumo de álcool e drogas [217]. Naturalmente, outros fatores poderão

originar stresse, tais como, por exemplo, o ruído [121] (que chega mesmo a ser considerado um dos fatores ambientais mais stressantes em subterrâneo [151]) ou o receio de sofrer uma queda [218]. Finalmente, são de realçar os eventos de emergência que obriguem ao uso de câmara de refúgio, pois podem fazer os trabalhadores experimentar níveis anormais de stresse [219].

Uma investigação levada a cabo pelo autor Manuel Tender durante a realização da sua Tese de Mestrado [16] revela que 82% dos técnicos consideram que os trabalhos de túneis têm maior propensão do que os edifícios para gerar stresse [2], facto que pode ser motivado pelos fatores acima referidos, que são inexistentes ou pouco acentuados na área de edifícios.

3.9. Resposta à questão de investigação

Questão de investigação nº1

“Q1 – Quais os principais riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, presentes na construção de obras subterrâneas?”

Resposta à questão de investigação nº 1

Os riscos mais habituais em obras subterrâneas e identificados na revisão bibliográfica realizada são: eletrização/eletrocussão; detonação extemporânea/projeção de blocos; inalação de gases provenientes de equipamentos a gásóleo; inalação de gases provenientes de incêndio; inalação de gases provenientes de detonação de explosivos; inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado; contacto com produtos químicos; rutura de equipamentos ou acessórios, queda de blocos/torrões de betão projetado, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos; queda ao mesmo nível/em altura; problemas musculoesqueléticos; atropelamento e contacto com agentes biológicos. Em termos de fatores ocupacionais: ruído, vibrações, temperaturas extremas/radiações, ambiente pressurizado e stresse.

4. O POSICIONAMENTO DO CRITÉRIO “SEGURANÇA E SAÚDE”

4.1. Enquadramento do capítulo

Este capítulo pretende dar cumprimento ao objetivo nº 3 previsto no capítulo de introdução “**Aferir o posicionamento do critério “Segurança e Saúde” no processo de escolha do método a utilizar**”, e dar resposta à questão de investigação nº2 “**Qual o posicionamento do Critério Segurança e Saúde, perante os restantes critérios, no processo de decisão de escolha do método de escavação?**”

4.2. Processo de escolha de método de escavação

Atualmente, a indústria da tuneladora é muito competitiva, exigindo custos cada vez menores e velocidades de escavação cada vez maiores. Os dois métodos em estudo competem há vários anos [12], continuando ambos a ser frequentemente utilizados.

De qualquer modo, decidir qual o método de escavação mais adequado, sendo um primeiro passo, é um antigo dilema [12], e apresenta-se como um dos maiores desafios em termos de projeto de túneis [11]. O objetivo geral deste processo de decisão é a escolha do método que melhor se adequa à utilização final da estrutura, que permite uma construção segura, que utiliza métodos *state-of-the-art* e ainda garante a mais robusta solução em termos económicos e de sustentabilidade [15]. Este processo de seleção é um dos fatores-chave para uma realização com sucesso do projeto [15]. Não será demais salientar que, no entanto, os dois métodos podem estar envolvidos num mesmo projeto (por exemplo, o MET a escavar as galerias e o MEC para fazer os troços iniciais do túnel, bem como as estações).

Falando da seleção em si, dir-se-á, em primeiro lugar, que deve ser feita o mais cedo possível [10], sob pena de alterações tardias poderem ter um impacto bastante negativo no empreendimento, em termos logísticos e financeiros.

Uma das hipóteses é, mediante um determinado cenário, um dos métodos poder, pelas suas limitações e riscos específicos, ver a sua utilização condicionada [94] ou mesmo impedida. Por exemplo, no caso de uma envolvente tornar inviável a utilização de explosivos, é desde logo imperativo optar pela utilização de uma tuneladora. Nesses casos, ou seja, se a análise comparativa dos dois métodos para o projeto em questão revelar vantagens de um método sobre o outro, o concurso será lançado com o método de escavação já determinado.

Por vezes, porém, a fase de projeto revela que ambos os métodos são viáveis e que não há vantagem clara de um sobre o outro. Neste caso, o concurso dá abertura à utilização de qualquer um dos métodos e a decisão passará para a fase de obra e para a responsabilidade da Entidade Executante (EE) [15], que escolherá o método tendo também em conta a sua experiência em obras similares.

Quando os dois métodos se revelam viáveis, portanto, deve ser feita uma avaliação cuidadosa que englobe todos os critérios (operacionais, económicos e ambientais [220]), considerando as vantagens e desvantagens de cada um deles [8].

Para a escolha do método de escavação mais adequado, e dado que cada projeto é único, não há uma recomendação que possa servir a todos os túneis, uma vez que cada um possui circunstâncias e particularidades que podem fazer um critério tornar-se mais importante do que outro [11]. Naturalmente, quanto mais complexas forem as características do túnel, mais complexa se poderá tornar a tomada de decisão [11]. O facto é que o rigor necessário para a escolha não permite erros [220], o que obriga a uma avaliação cuidadosa dos prós e dos contras, particularmente em termos de consequências e custos na eventualidade de ocorrerem imprevistos [221]. Erros de seleção podem levar a um aumento de riscos [222] e, eventualmente, ter consequências muito graves, nomeadamente em caso de acidente de trabalho grave ou mortal, com paragem de trabalhos e consequentes impactos financeiros (aumento de custos) e logísticos (dilatação de prazos) [10]. Há alguns relatos de escolhas erradas que obrigaram à desistência do projeto, ou à alteração do método de escavação (em alguns casos, com perda de equipamento [223]). Temos exemplos de mudança de MET para MEC [12], de MEC para MET, e de substituição de tipo de tuneladora [220], de modo a poder continuar a obra. Infelizmente, também há exemplos de consequências fatais para os trabalhadores [223].

A complexidade deste assunto impede a utilização de uma abordagem simples [10], pelo que importa:

- garantir que exista um painel de especialistas que participem no processo de decisão e que sejam provenientes de diversas áreas (geologia, geotecnia, fornecedores, etc.) [11];
- estudar todos os fatores que pesam na decisão da escolha e apenas tomar decisões baseadas em critérios únicos e depois de todos os prós e contras avaliados [103].

Durante a tomada de decisão quanto ao método de escavação, diversos parâmetros têm de ser estudados. Os critérios que podem estar envolvidos no processo de decisão são diversos, o que faz com que este processo se revista de importância crítica [10]. Diversos autores de renome referem diversos critérios como prioritários, nomeadamente os seguintes:

- *“Condições geológicas de maciço, hidrologia, restrições geométricas, localização, acessibilidade e logística, segurança e saúde, questões ambientais, estruturas nas proximidades, ruído e vibrações, experiências anteriores em projetos similares, organização e processos, prazos, comprimento e secção transversal do túnel, aspetos de risco, custos”* [10];
- *“Condições do maciço rochoso, profundidade, experiência do empreiteiro, equipamento disponível”* [224];
- *“Custos, tipo de solo, requisitos de segurança e prazos”* [74];
- *“Secção, diâmetro, prazos”* [225];
- *“Requisitos de projeto, as características do maciço rochoso, o rendimento e questões contratuais”* [12];
- *“Maciço rochoso e geometria do túnel”* [71];
- *“Características do maciço, impacto na envolvente, segurança e saúde, custos”* [38];

- “Condições geológicas” [226];
- “Condicionantes geológicas, condicionantes financeiras, secção transversal, tempo de construção disponível” [37];
- “Geologia, comprimento, secção transversal e prazo” [221].

Independentemente dos critérios específicos a analisar, a escolha deve ser feita de acordo com o mais atual estado da evolução da técnica. Aliás, este ponto faz parte da crítica que Lok [225] fez, na sua análise ao estado da arte do MET, à análise realizada por Singh e Zoldy [12], tendo referido que esta pecava por, para além de ser antiga (15 anos), não tomar mesmo em consideração os avanços técnicos atuais [225].

As grandes diferenças existentes entre os métodos impossibilitam uma comparação direta [11], já que as tarefas, equipamentos e materiais envolvidos são bastante diferentes. No entanto, com um procedimento apurado (nomeadamente, o uso das mesmas premissas e condicionalismos), podem ser tiradas algumas conclusões genéricas [60]. É este um dos princípios que orienta esta investigação.

A análise comparativa não exaustiva que aqui se pretende apresentar versa os critérios técnicos da escavação, excluindo a análise a critérios de outro foro, como os relacionados com questões de mercado, de aceitação social, de disponibilidade de mão-de-obra, de experiência dos intervenientes, de disponibilidade de fornecedores, de custos de licenciamento, de custos de materiais e mão-de-obra, de barreiras comerciais, ou de legislação.

Os critérios utilizados na investigação que agora se apresenta, foram os identificados ao longo da revisão bibliográfica realizada, a saber: **comprimento; custo; secção transversal, diâmetro, curvatura e inclinação; velocidade de escavação; estaleiro e equipamentos; segurança e saúde; questões ambientais; mão-de-obra disponível; condições geológicas e geotécnicas; sobrecavação e qualidade de revestimento final.** Diversos autores têm vindo a escrever sobre a importância destes critérios, embora não exista na literatura uma tentativa de estabelecer uma hierarquização da sua potencial importância relativa durante o processo de escolha do método de escavação subterrânea.

Embora o futuro seja uma incerteza, alguns autores já auguram um determinado futuro para cada um dos métodos, afirmando que a maior parte dos túneis poderá vir a ser escavada com máquinas (incluindo alguns que, atualmente, seriam escavados com MEC [227]), permanecendo o MEC como primeira escolha para terrenos muito difíceis ou com condições alteradas [60]. Esta opinião poderá ser explicada pela evolução notável das tuneladoras, embora estas apresentem ainda algumas limitações, inerentes ao conceito do equipamento, face ao tipo de terreno.

4.3. Metodologia de aferição do posicionamento do critério “Segurança e Saúde”

De modo a aferir qual a importância dos critérios habitualmente levados em conta no processo de decisão do método de escavação, concebeu-se uma metodologia assente num inquérito a um painel de especialistas da área. Optou-se pela realização do inquérito, dado ser um modo que permite alcançar um número razoável de

técnicos com formação e experiência diversa que, assim, exporá opiniões provenientes de diversos quadrantes e diferentes experiências de escolha de método de escavação. O objetivo do inquérito foi tentar perceber qual a opinião comparativa e hierarquizada que cada um dos técnicos tem sobre os 10 critérios selecionados e acima mencionados.

O inquérito foi realizado por correio eletrónico, entre os meses de julho e novembro de 2016.

Os critérios para escolha de inquiridos foram: possuírem uma ligação à área das obras subterrâneas (quer na função de promoção, projeto, construção, fiscalização de obra, investigação ou docência, quer na vertente mais ligada à produção, quer na vertente mais ligada a áreas como a prevenção), e terem um mínimo de 2 anos de experiência neste tipo de obras.

Obtiveram-se 47 respostas válidas de técnicos com uma experiência muito diversa. As funções dos técnicos que responderam ao inquérito eram de Administração (10,6%), Direção e supervisão de obra (44,7%) e Prevenção (44,7%). Em termos de experiência, esta variava entre de 2 a 5 anos (38,3%), de 5 a 15 anos (38,3%) e de mais de 15 anos (23,4%), com uma média de 13,0 anos de experiência em obras subterrâneas.

A primeira secção do inquérito apresentava o estudo, os objetivos, as regras de preenchimento e os parâmetros de avaliação. A segunda secção pretendia obter uma caracterização do inquirido, em termos de experiência profissional. A terceira secção questionava os inquiridos sobre os valores a atribuir a cada critério, numa escala de 1 a 10. O valor total atribuído pelo inquirido ao conjunto dos critérios foi designado como “Nível de importância”.

4.4. Resultados

A Figura 46 apresenta os níveis de importância atribuídos pelos inquiridos a cada critério:

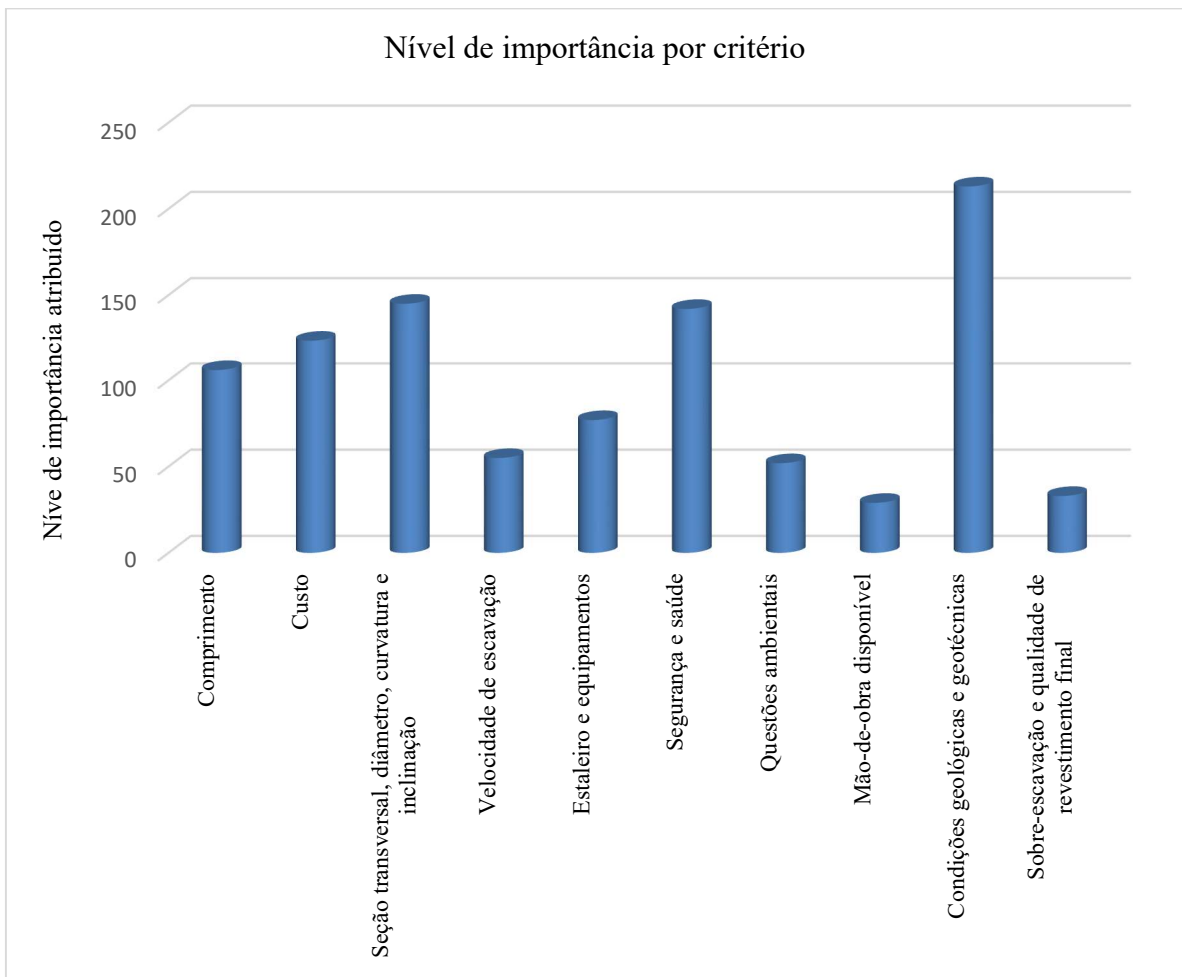


Fig.46-Importância atribuída a cada critério

Da análise do gráfico, confirma-se, em primeiro lugar, que existem diferenças bem marcadas entre a importância atribuída a cada critério [9]. No entanto, um dos critérios distancia-se dos restantes: “Condições geotécnicas e geológicas do maciço”. Nos lugares seguintes, encontram-se a “Seção transversal” e, pouco mais abaixo, a “Segurança e Saúde”. Seguem-se o “Custo” e, depois, o “Comprimento”. Em níveis mais baixos, aparecem “Estaleiro e equipamentos”, “Velocidade de escavação”, “Questões ambientais”, “Sobre-escavação e revestimento final”, e “Mão-de-obra disponível”. A seguir, são pormenorizados os critérios identificados quanto ao seu impacto no MEC e no MET.

4.5. Discussão do posicionamento dos diversos critérios

4.5.1. Condições geológicas e geotécnicas do maciço

As condições do maciço e respetivo comportamento têm, pela sua abrangência, grande influência no processo de escolha do método de escavação, confirmando-se, pelos resultados obtidos, que são um dos fatores-chave para o sucesso da execução do túnel e, designadamente, para a obtenção de uma taxa de avanço razoável [10].

Começando pelo MEC, este apresenta boas capacidades de escavação para maciços mais duros (designadamente utilizando explosivos), pois permitem uma minimização de dispositivos de estabilização e tempos de suporte mais elevados [94]. Também no caso de maciços problemáticos, bastante fraturados e alterados, o MEC apresenta bons resultados [228], devido a boas capacidades de adaptação a situações deste tipo. No entanto, pode ser problemático com o aliviar de tensões na frente de escavação (que obrigará a um notório reforço de dispositivos de estabilização [160]). É um facto que, quanto mais difícil for o maciço, maior flexibilidade é necessária [229], mas saber que percentagem de comprimento de túnel é problemática, ou mesmo crítica, é sempre difícil.

Já o MET apresenta boas capacidades para escavação de maciços homogéneos [160] ou duros [230], mas com limitado grau de abrasividade [160], caracterizando-se pela fraca adaptabilidade a condições geológicas variáveis [227], ou seja, a maciços heterogéneos [12], designadamente porque a tuneladora tem a face fechada [94]. Em casos extremos, dão-se diminuições drásticas da velocidade de avanço ou até uma total inversão dos pressupostos, se o MET for erradamente selecionado [94] – ainda que as tuneladoras possam estar equipadas com todos os dispositivos que o MEC utiliza [225]. Um dos pontos-chave para decidir pela utilização ou não do MET é a profundidade do túnel [160]: Os túneis mais profundos poderão dar origem, pelas tensões elevadas existentes no maciço, a pressões na face de escavação e/ou na estrutura da tuneladora. No caso de o terreno ser deformável, pode até bloquear a passagem da tuneladora, ou originar o colapso da face sobre a cabeça de corte do equipamento [94]. Havendo um elevado teor de humidade ou conteúdo argiloso, a progressão pode ser bloqueada, por obstrução dos discos de corte ou acumulação na correia transportadora [94]. De facto, os túneis realizados ultimamente em grandes cadeias montanhosas, como os Himalaias, os Andes e os Alpes, têm tido algumas experiências desfavoráveis com o uso de MET, dada a ocorrência dos referidos fenómenos [229]. Os impactos no MET serão ainda superiores se tiver de ser realizada estabilização suplementar [12], já que obrigará a maiores paragens. O fluxo de água [12], por sua vez, pode ser problemático para qualquer um dos métodos.

A maior parte dos túneis necessita de suporte para a sua estabilidade a médio / longo prazo. O tipo e a magnitude dos suportes dependerão do tipo de tensões no maciço e das condições de água [231]. O MEC necessita de mais dispositivos de estabilização do que o MET, designadamente devido à utilização de explosivos, que provocam mais danos [44] e reduzem a estabilidade do maciço. O MEC implica que os

dispositivos sejam instalados apenas depois da escavação, enquanto no MET podem ser instalados ao mesmo tempo [230], embora o suporte possa ser mais difícil de implementar, devido a dificuldades de aplicação logo atrás ou à frente de cabeça de corte [231]. Esta dificuldade poderá justificar o facto de, muitas vezes, este suporte ser aplicado já em alturas tardias, aumentando assim os riscos para os trabalhadores [231].

A análise acima parece suportar a perspetiva habitual de que o MET não é adequado para condições difíceis. No entanto, esta opinião, derivada de longas décadas de utilização do MEC, tem vindo a ser combatida pelos fabricantes de tuneladoras, verificando-se nesta fase que os avanços técnicos a que se tem assistido nesta área aumentam a flexibilidade de uso do MET, que pode agora ser aplicado em solos mais difíceis, havendo já tuneladoras que trabalham em mais do que um tipo de terreno [225].

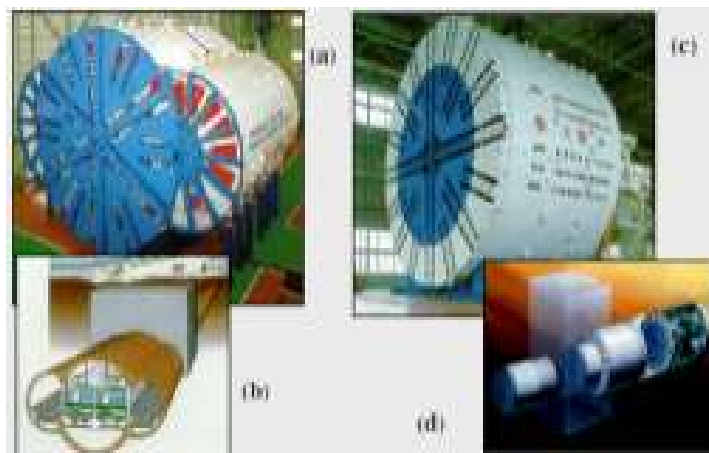
Portanto, as condições existentes do terreno a escavar, influenciando diversos parâmetros, tais como a velocidade de escavação, a aplicação ou não de dispositivos de estabilização, etc., apresentam uma importância primordial na escolha do método de escavação.

4.5.2. Secção transversal, diâmetro, curvatura e inclinação

Os requisitos operacionais do túnel definem a secção transversal interna [10]. A geometria da secção escavada é a primeira grande diferença entre os dois métodos [9]. No MEC, a secção pode ser variável [227] e alterada ao longo da obra [232] (o que é uma grande vantagem para circuitos complexos de túneis [60] ou zonas de estações ou de nichos/refúgios [230], e para situações de maciço heterogéneo, com escavação faseada [60], em que o projeto vai sendo adaptado), estando apenas dependente das condições geológicas, o que torna este método muito flexível neste aspeto [8]. Geralmente, a secção é em forma de ferradura [233], sendo “ideal para túneis rodoviários em que a secção não é circular, mas em que a largura exigida para a escavação é bastante superior à altura” [94]. É sempre importante que sejam evitados cantos, para ter em conta os princípios deste tipo de métodos convencionais e assim evitar concentração de tensões nesses pontos particulares [232].

Já no MET, a secção é, geralmente, circular e com dimensões fixas [37], o que o torna preferível para túneis de metropolitano, águas ou saneamento [230], criando uma limitação que não é compatível, em circunstâncias normais (e salvo escavação com TBM e posterior reconfiguração da soleira com MEC), com a execução de túneis rodoviários, em que a largura é bastante superior à altura. No entanto, atualmente, a técnica já evoluiu o suficiente para que, com equipamentos especiais, a secção escavada por tuneladoras tenha deixado de se limitar a secções circulares [15]. A Figura 47 apresenta a tuneladora utilizada na linha Nanboku, do metropolitano de Tóquio. Na estação de Shiroganedai foram utilizadas três tuneladoras circulares, sendo a máquina central responsável pela execução do túnel central, com diâmetro de 9,8 m, enquanto as duas laterais aumentavam a largura de escavação para 15,6 m² (Figuras 47a e 47b) [37]. Nessa linha foi utilizada também uma tuneladora constituída por duas tuneladoras concêntricas [37] (Figura 47c e 47d). O primeiro troço de túnel foi feito com a tuneladora de maior diâmetro ($D = 13,9$ m) e o restante, após separação das tuneladoras, com a de menor ($D = 9,8$ m). Ou seja, neste caso, com a ajuda dos avanços da técnica, duas das limitações típicas

da escavação mecanizada (geometria circular da secção de escavação e diâmetro fixo ao longo do túnel) foram ultrapassadas.



Figs.47a,b,c,d-Tuneladoras da linha Nanboku [37]

Para túneis com diâmetros abaixo de 3m ou acima de 10m, o método recomendado é o MEC. Para túneis de diâmetros entre os 3m e os 10m, qualquer um dos métodos poderá ser vantajoso [12]. O MET é utilizado para diâmetros superiores a 3,5m [231], sendo que abaixo deste diâmetro há dificuldades várias, designadamente para a movimentação dos trabalhadores [231] e para a instalação de dispositivos de estabilização [160], que provocam uma diminuição da velocidade de avanço em túneis de pequena secção. No caso do MEC, a diminuição da velocidade de avanço perante o aumento da área do túnel é inferior à verificada com tuneladoras, porque o aumento do diâmetro do túnel disponibiliza, neste caso, uma maior área para a utilização de equipamentos [12]. Já no MET, à medida que o diâmetro aumenta, o número de discos a trocar por metro de avanço aumenta também, aumentando as paragens para trocas e diminuindo o sucesso potencial do uso deste método [12]. No entanto, as tuneladoras têm sofrido diversas evoluções, permitindo diâmetros cada vez maiores. Atualmente já existem tuneladoras de diâmetros superiores a 16m, como a tuneladora de diâmetro de 17,6m (na Figura 48), correspondente a uma área de 240 m², no túnel “Tuen Mun – Chek Lap Kok” em Hong Kong [10].



Fig.48-EPB de Túnel Sparvo [43]

Quanto à curvatura do túnel, o MEC é adaptável a qualquer curvatura [230], mas o MET, devido ao elevado comprimento do *backup* da tuneladora, tem uma capacidade limitada para construir túneis com raios de curvaturas apertadas [60]. Os limites impostos na fase de exercício são mais restritivos do que a tecnologia de escavação [37], pelo que este problema se encontra sanado à partida.

Em termos de inclinação, o MEC não deve ultrapassar os 30° [12]. O MET, por sua vez, deve ter uma inclinação limitada, devido ao equipamento de *backup* e a equipamentos sobre carris, sendo que, para inclinações mais elevadas, tem de haver *grippers* extra [230]. Em termos de veículos de transporte de equipamentos e pessoas, a inclinação é limitada a 1:5 [230]. Em termos de tapete transportador, verifica-se que este pode ter uma inclinação recomendável de até 30° [230], atingindo atualmente, em poços, posição vertical. Atualmente, com equipamento especial, quer o MEC quer o MET já têm vindo a ser utilizados em ângulos bastante maiores, como para poços inclinados ou escadas para estações de metro, com inclinações superiores a 25° [160]. Verifica-se, tal como no caso da curvatura, que os limites impostos de projeto para a circulação ferroviária e rodoviária são mais restritivos do que os limites técnicos das tuneladoras [37].

4.5.3. Segurança e saúde

A segurança e saúde em obras subterrâneas não é um assunto de discussão recente. O mais antigo documento encontrado sobre riscos para a segurança e saúde em OS data de 1941, e intitula-se “*Some essential safety factors in tunnelling*”, tendo sido desenvolvido pelo Departamento do Interior dos EUA. Neste documento, é realizada uma abordagem transversal a diversos riscos, dando conta das dificuldades de então. Alguns autores emitiram recentemente opiniões sobre os níveis de Segurança e Saúde em cada método, integrando-os em análises genéricas sobre diferenças entre os dois métodos (englobando diversos critérios) e apontando, embora sem quantificar, o MEC como tendo maiores níveis de riscos. Seguem-se alguns exemplos do que afirmaram: - “O MET é propício a poluição causada por explosivos, gases de exaustão de camiões e poeiras de betão projetado” [2].

- *“As condições da backup numa tuneladora são mais industrializadas e os locais de trabalho totalmente planejados, ao passo que no MEC os trabalhadores estão mais expostos à face de escavação” [10];*
- *“O uso de tuneladora aumenta os níveis de segurança” [15];*
- *“O MET pode ser visto como mais seguro do que o MEC e tem um baixo risco de ocorrência de AT [12]”;*
- *“A instalação de dispositivos de estabilização a partir do escudo, associada à ausência de explosivos, faz com que o MET seja mais seguro” [233];*
- *“A utilização de tuneladoras é mais segura, dado garantir um melhor ambiente do que o MEC e por manter a face de escavação estabilizada” [44];*
- *“Em solos brandos, o MET melhora as condições de segurança” [127];*
- *“Atendendo às operações de montagem e desmontagem necessárias para início de trabalhos, o MET apresenta mais riscos mecânicos: queda de objetos, golpe, entalamento, corte, riscos térmicos e elétricos e de projeção de partículas” [234];*
- *“Em termos de manutenção, o MEC tem maior número de quedas em altura, devido à necessidade de subir e descer de equipamento em manutenção, e o risco de golpes e contactos com equipamentos (por exemplo, na mudança de brocas de furação)” [234];*
- *“O MET garante melhores níveis de segurança para os que estão em subterrâneo” [19];*
- *“O MEC, em geral, pode ser visto como pouco saudável, devido à poluição do ar, fruto da utilização de explosivos, da presença de gases de exaustão dos motores de equipamentos a diesel e de poeiras de betão projetado. O caso do MET é consideravelmente melhor, devido a melhor qualidade de ar, que não possui fumos de explosivos ou diesel. Adicionalmente, o trabalho físico é restrito a manipulações e monitorização do processo, bem como trabalhos de manutenção” [60];*
- *“O MET apresenta maior segurança para o trabalhador” [227];*
- *“O MET reduz o stresse ambiental por fumos de explosivos e de diesel; no entanto, tem a desvantagem de possuir poeiras, ruído e vibrações, no caso de rocha dura” [235];*
- *“A mecanização do MET promove a segurança” [8];*

Em termos de estudos única e exclusivamente direcionados para a avaliação de riscos contemplando questões de segurança e saúde, existem poucos estudos que abordem o assunto [10]. Referem-se os estudos que mais se aproximam da temática agora apresentada:

- Anerizis que, utilizando o modelo WORM desenvolvido na Holanda, apresentou uma avaliação (realizada por um engenheiro com longa experiência em túneis, um engenheiro de segurança e os supervisores de cada fase de construção) de 63 riscos na construção de um túnel com 1200m com recurso ao MEC, avaliando cada posto de trabalho em cada uma das três fases de construção consideradas, e calculando o risco de acidente de trabalho mortal bem como de incapacidade permanente e temporária [17]. Anerizis conclui que deve ser realizada investigação, de modo a ter em conta os condicionalismos do ambiente de trabalho, e que devem ser realizados questionários, de modo a avaliar estes riscos;

- Fouladgar realizou uma avaliação sobre onze riscos, sem especificar o método considerado, abrangendo a vertente geotécnica e ocupacional, chegando à conclusão que os maiores riscos são do âmbito geotécnico [73];

- Tender apresentou uma avaliação de riscos por 10 especialistas, considerando uma fase e diferenciando os dois métodos, concluindo que os riscos variam em tipo e nível, dependendo do método em utilização, remetendo para estudos posteriores a quantificação de nível de risco por método [2].

4.5.4. Custo

Em tunelamento, como nas outras áreas, o custo mais vantajoso (embora seja sempre muito difícil, pelas variáveis em questão, prever o custo de uma obra subterrânea [231]) é um dos relevantes critérios de escolha (Tunnelling&Tunnelling, 2016). Neste tipo de obras, existe um fator elevado de imprevisibilidade que pode afetar largamente os custos associados e muitas das vantagens apresentadas por cada um dos métodos poderão ser simplesmente convertidas para os custos associados. Além disso, existe uma relação direta entre tempo e custos [231], que faz o custo variar consoante o rendimento obtido no ciclo de escavação e tendo em conta as operações de construção, manutenção e reparações necessárias [230].

O MEC apresenta um baixo custo inicial (associado à compra ou aluguer de equipamentos de perfuração, furação ou escavação) [230], e um custo contínuo médio, associado a operações de furação e consumo de explosivos [94].

Quanto ao MET, este possui elevados custos iniciais [227], associados à montagem e transporte da tuneladora da fábrica para o estaleiro, e um baixo custo contínuo mediante o rendimento obtido [230]. Comparativamente com o MEC, o MET apresenta menores custos com os seguintes aspetos: menor sobrecavação e respetivo gasto de betão suplementar para realizar o revestimento final; menos custos com ventilação [12] e menos custos com dispositivos de estabilização, devido a menor fracturação do maciço (uma vez que não utiliza explosivos).

No entanto, também devemos levar em consideração parâmetros que podem fazer atrasar o avanço e perceber que, em condições fronteiras e exigentes, pode acontecer que um túnel mais longo tenha de ser feito com MEC ou um mais curto com MET [15].

Portanto, e devido também ao facto de o risco financeiro no MET ser superior ao verificado no MEC [94], o MET apresenta-se, em condições normais, como sendo o mais adequado para túneis extensos, de forma a que o investimento possa ser distribuído ao longo da escavação [230].

Fazer um túnel em zonas remotas, com acessos limitados ou inexistentes, tem obviamente custos superiores a fazê-lo em zonas urbanas e carecerá de um enquadramento específico [231].

4.5.5. Comprimento

Diversa literatura refere que o comprimento do túnel é um dos critérios mais limitativos na seleção do método de escavação [10]. Como já foi mencionado, parece ainda haver uma opinião generalizada de que o MEC é para túneis menos longos e o MET para túneis mais longos. É um facto que um túnel tem de ter um certo comprimento para compensar o investimento de ser feito com tuneladora [230], bem como o tempo gasto a montá-la [12]. Realce-se, no entanto, que a escolha “cega” do MET para túneis mais longos pode criar condições para a ocorrência de ATM [223]. Por outro lado, diversos autores salvaguardam que, para evitar a utilização de explosivos, designadamente em zonas urbanas, o MET pode ser uma boa opção para túneis mais curtos. Diversos autores apontam para números diferentes quanto aos comprimentos para os quais cada um dos métodos é rentável e os pontos em que o seu custo/rendimento é considerado ótimo. Verifica-se existir um ponto fronteira, a partir do qual a taxa de velocidade do MEC passa a ser mais baixa do que a do MET, sendo a partir deste comprimento mais vantajoso o MET. Na Tabela 2, sintetizam-se as diversas opiniões recolhidas na literatura quanto aos comprimentos a partir dos quais cada um dos métodos se revela mais eficiente.

Tab.2-Adequabilidade de método a comprimentos

	500m	1000m	1500m	2000m	2500m	3000m	3500m	4000m	4500m	5000m	5500m	6000m	6500m	7000m
Rieker														MET
Sauer		MEC									MET			
Singh		MEC									MET			
Toan		MEC												
Holen		MEC										MET		
Jodl		MEC												
Girmscheid											MET			
Gratias		MEC												

Conciliando todas estas opiniões quantitativas, podemos apontar que, para as mesmas condições de construção, a utilização do MEC é mais vantajosa abaixo dos 2000m e a utilização do MET é mais vantajosa acima dos 5000m.

Estes comprimentos serviram de referência para o estudo comparativo que se desenvolveu nesta investigação.

4.5.6. Estaleiro e equipamentos

No caso do MEC, o estaleiro necessário está mais relacionado com os percursos para movimentação dos equipamentos de transporte de terras, com o espaço necessário para montagem de moldes de cofragem e com o espaço necessário para armazenamento de explosivos [233], como ilustrado na Figura 49.



Fig.49-Montagem de equipamento em estaleiro [31]

No caso do MET, é necessário um estaleiro com alinhamento comprido, de entre 50 e 150m [160], para poder montar a tuneladora [233], conforme ilustrado na Figura 50.



Fig.50-Exemplo de estaleiro necessário para o MET [15]

Tem também de existir espaço suficiente para acolher as gruas para montagem da tuneladora (ilustrado na Figura 51), bem como as diversas (que podem ser dezenas) peças de elevado peso da própria tuneladora (que pode alcançar as 1000t, excluindo *backup* [230]), e para proceder à montagem e assemblagem de peças [160].



Fig.51-Montagem de cabeça de tuneladora [236]

Geralmente, o MET também apresenta a limitação de ser necessário um local para armazenamento de aduelas pré-fabricadas [222], conforme ilustra a Figura 52.



Fig.52-Espaço necessário para armazenamento de aduelas pré-fabricadas [15]

No caso de utilização de tuneladoras do tipo EPB, podem também ser necessários locais de montagem de silos de reciclagem de lamas, ou locais onde o escomburo húmido retirado da escavação fique a secar [222].

Em qualquer um dos métodos, pode haver necessidade de um local para armazenamento intermédio de escomburo, no caso de este vir a ser reutilizado [60], ou para quando as operações de transporte de terras para vazadouro são interrompidas [222].

Quanto a acessos, o MET pode apresentar maiores dificuldades que o MEC, em termos de trajetos, que se podem revelar sinuosos para tão grande volume de peças da tuneladora, e em termos de horário de circulação de equipamentos pesados de transporte. Além disso, os acessos podem requerer trabalhos adicionais, devido à capacidade de resistência necessária para suportar o transporte de algumas peças que atingem dimensões relevantes e várias dezenas de toneladas (a peça mais pesada tem entre 50 e 100 toneladas) [9]. Este elevado peso pode implicar o reforço da capacidade resistente de estradas ou a instalação de guias de alta capacidade

para a montagem do equipamento [230]. No caso do MEC, as dificuldades que poderão ocorrer no transporte poderão estar mais ligadas ao transporte de equipamentos móveis para operações de escavação.

Em meios urbanos, a logística de transporte de meios de escavação do fornecedor para o local de obra não assume um grau de dificuldade como acontece quando o local de obra se localiza em zonas remotas [231], situação em que o transporte das peças pode até ter de ser feito por helicóptero (limitado, no entanto, a cargas menores – de cerca de 20t no caso de helicópteros de grande porte [160]).

Em termos de utilização de equipamentos, estes são dois métodos com filosofias opostas. O MEC é um método com bastante intervenção humana e utilizando muitos equipamentos diferentes (pequenos equipamentos, disponíveis no mercado e prontos a operar após a compra), com uma consequente maior carga de mão-de-obra [44]. Na Figura 53, exemplificam-se os equipamentos utilizados no MEC.



Fig.53-Equipamentos utilizados no MEC [31]

Já o MET requer um único equipamento para escavação, automatizado, com reduzida intervenção humana, mas de maior dimensão e com um único posto de comando. Na Figura 54, exemplifica-se um posto de controlo da cabeça de escavação.



Fig.54-Centro de comandos de cabeça de escavação [236]

4.5.7. Velocidade de escavação

É importante referir que o cálculo da velocidade de escavação deve ser realizado tendo em conta não só os tempos de escavação, mas também os tempos de montagem, manutenção e desmontagem do equipamento. O MEC tem uma mobilização quase imediata [230], enquanto o MET tem uma mobilização demorada, correspondente ao período de fabrico da tuneladora, que se pode prolongar por vários meses [230], e ao período de montagem da tuneladora em estaleiro (que geralmente dura algumas semanas) [94]. O primeiro período pode ser encurtado, caso se adote um equipamento usado/recondicionado [233]. A relevância deste elevado tempo de montagem é inversamente proporcional ao comprimento do túnel, e este tempo de mobilização é compensado pelo elevado rendimento do MET comparativamente com o MEC e pela minimização de necessidade de estruturas temporárias, túneis e poços [44].

O MEC é caracterizado por apresentar, em boas condições, uma velocidade de execução na ordem dos 30 metros semanais para uma secção transversal de 90m² (como aconteceu no Túnel do Marão). Dependendo do tipo de maciço, a roçadora pode ser mais rápida que o martelo ou explosivos, quer em termos de escavação quer em termos de posterior carregamento de escombros [237]. O MET é caracterizado por uma velocidade de escavação, dependendo da penetração por revolução da cabeça de corte e pela rotação dos discos de corte, que pode oscilar bastante, de 1 a 6m/h [230] – considerando uma velocidade instantânea [231]. A velocidade atingida no MET é, relativamente ao MEC, menos constante e muito mais dependente da resistência apresentada pelo maciço [231].

A taxa de utilização no MEC pode rondar valores acima dos 80% sendo que a do MET pode rondar valores abaixo dos 50% [231]. No MEC, a evolução do ciclo de escavação pode ser condicionada pelos elevados tempos de espera que o próprio método implica. Trata-se do tempo de espera entre a pega de fogo e a reentrada no local (à medida que o comprimento do túnel aumenta, também aumenta o tempo necessário para extração dos gases derivados da pega de fogo), do tempo necessário para retirada de escombros [238], do tempo de espera para o betão projetado ganhar presa, e do tempo necessário para a montagem de dispositivos de estabilização (quanto pior for a qualidade do maciço, mais tempo demora esta fase). No caso do MET, um maciço com mais juntas, com mais blocos soltos, ou mais variável, que obrigue à aplicação de dispositivos de estabilização, pode fazer variar a velocidade de avanço [222], reduzindo-a para médias abaixo das do MEC. Quanto à manutenção ou reparações no equipamento, no caso do MEC, estas podem ser feitas à medida que o túnel vai sendo feito.

Já no caso do MET, e no caso de manutenção, montagem de *grippers* [231], mudança de discos de corte [231], ou avaria da tuneladora, toda a escavação pode ter de ser interrompida. Além disso, a velocidade de avanço pode diminuir drasticamente, podendo variar de forma considerável [94], no caso de ocorrerem deslizos ou se o maciço ficar heterogéneo, designadamente se a tuneladora não estiver equipada para lidar com tais eventos. Para terminar, o ciclo de escavação com o MET não se encontra dependente da atividade de transporte de terras, pelo que não existe conflito entre escavação e transporte de escombros.

Em termos de frentes de trabalho, o MEC permite a abertura de diversas frentes de trabalho (no mínimo, uma em cada um dos emboquilhamentos), levando ao aumento da velocidade de avanço, à diminuição do tempo de construção e ao decréscimo do risco de existir um problema em todas as frentes em simultâneo [94]. Adicionalmente, em túneis mais largos, pode atacar-se em diversas frentes, porque o espaço disponível para os equipamentos trabalharem é superior [94]. O MET, por sua vez, apenas permite uma frente de escavação [94].

4.5.8. Questões ambientais

Questões ambientais, como vibrações para o exterior ou assentamentos à superfície, podem ser decisivas na escolha de método [15], designadamente em obras em meio urbano, especialmente a pequenas profundidades. Os problemas que advêm para a vizinhança podem ser do foro estrutural (no caso das construções) ou psicológico (no caso de moradores e utilizadores), no caso de, por ex., fissuras em elementos estruturais [230]. Simultaneamente, a limitação de ruído ou a obrigatoriedade de não afetar cursos de água que estejam nas proximidades do túnel podem também aparecer como condicionantes [10]. Por exemplo, a necessidade de limitar vibrações pode fazer com que o túnel, ainda que de reduzido comprimento, tenha de ser escavado com o MET [230].

No que se refere à sustentabilidade ambiental, os materiais escavados de túneis têm gradualmente vindo a ser reutilizados [60], nomeadamente devido à limitada disponibilidade de reservas de recursos naturais de inertes. Ora, o método de escavação escolhido tem muito impacto na possibilidade de reciclagem dos materiais escavados para posterior aplicação, quer para inertes de betão definitivo quer para aterro de infraestruturas enterradas. Por um lado, e considerando o material escavado em si, há várias diferenças entre os escombros obtidos com o MEC e com o MET, em termos de tamanho e forma de grão e de propriedades químicas. No caso do MEC, o escombro está dependente do plano de fogo adotado, havendo por vezes problemas com a remoção, dado haver grandes pedaços de rocha depois da pega [44]. Em termos químicos, e no caso de serem utilizados explosivos, os escombros apresentarão resíduos de produtos químicos que variarão consoante o tipo de explosivo em utilização. No caso do MET, a rocha é escavada por discos de corte, pelo que a gradação do material escavado depende do grau de fraturação da rocha e do espaçamento dos discos [60]. Em geral, os materiais são uniformes [227], mas mais finos do que no MEC, facilitando a utilização de tapetes [233]. Este tipo de material não deve ser utilizado em betão, dado que pode piorar a sua trabalhabilidade e aumentar o consumo de cimento. Em termos químicos, este material pode conter vestígios de resíduos de lubrificantes ou de aditivos [60], utilizados para controlar o comportamento do material escavado (no caso de tuneladoras tipo EPB ou *SlurryShield*) [13].

4.5.9. Sobrescavação e qualidade do revestimento final

Um dos principais condicionadores do revestimento final é a sobrescavação, que implica custos suplementares, em transporte de terras, sistema de impermeabilização e quantidade de betão gasto no revestimento final [231].

O excesso de escavação, para além do perfil transversal previsto, pode ocorrer pelos seguintes motivos:

- Tipo de método em utilização. No caso do MEC, esta sobrescavação pode atingir valores relevantes. Num túnel com um perímetro de escavação de 20m, uma diferença de sobrescavação de 10cm pode significar 2m³ de betão suplementares por metro linear de túnel. Ora, num túnel com 1000 m.l. esta sobrescavação de 10cm pode significar gastar mais de 2000m³ de betão!

De realçar ainda que, no MEC, a suavidade do contorno da escavação depende muito do fator humano [44]. Já no caso do MET, e sendo o diâmetro fixo, este deverá permitir albergar os dispositivos de estabilização necessários. Numa situação em que os dispositivos não sejam necessários (e em que não existam discos de corte periféricos suplementares para fazer face a esta situação de necessidade de dispositivos de estabilização), estaremos perante uma sobrescavação [231].

- Pela fragilidade do maciço. Neste caso, utilizando explosivos, a sobrescavação é maior com o MEC do que com o MET, dado que a vibração induzida pelos explosivos, provocando maiores danos ao maciço, é superior à vibração induzida pela tuneladora [231].

Quanto à qualidade do revestimento final, também varia entre métodos. No MEC, é dependente de uma integridade e boa limpeza dos moldes de cofragem; no MET, devido à industrialização da escavação, a qualidade de execução é melhor e mais constante [227].

4.5.10. Mão-de-obra disponível

Quanto à natureza da mão-de-obra usada, o MEC tem necessidade de mão-de-obra mais versátil, com competências muito específicas [233] e mais especializada, tendo cada membro de adquirir mais competências em mais áreas – designadamente, furação, carga, rebentamento, ventilação, saneamento, instalação de dispositivos de estabilização e transporte de terras. No caso do MET, a formação dos trabalhadores é mais simples, dado cada membro ter responsabilidades mais limitadas e as tarefas serem mais repetitivas, tendo, portanto, menor necessidade de adquirir competências.

4.6. Resposta à questão de investigação

Questão de investigação nº2

“Qual o posicionamento do Critério Segurança e Saúde, perante os restantes critérios, no processo de decisão de escolha do método de escavação?”

Resposta à questão de investigação nº2

Existem diferenças bem marcadas relativamente à influência dos critérios em cada um dos métodos. O critério "Segurança e Saúde", posicionando-se em terceiro lugar hierárquico, é geralmente subestimado em relação aos critérios relacionados com qualidade de maciço a escavar bem como com as respetivas características geométricas. As questões relacionadas com as características do terreno a atravessar apresentam uma maior importância relativamente aos restantes critérios, facto que poderá ser explicado pelo seu impacto noutros assuntos, tais como a velocidade de escavação e custos associados.

5. ACIDENTES DE TRABALHO E DOENÇAS PROFISSIONAIS

5.1. Enquadramento do capítulo

Este capítulo pretende dar cumprimento ao objetivo nº 4, previsto no capítulo de introdução, “**Caracterizar e comparar, em quantidade e tipo, os acidentes de trabalho e doenças profissionais registados em Portugal**”, e dar resposta à questão de investigação nº 3, “**Qual o tipo de AT e DP típico (ou seja, o de ocorrência mais frequente ou de surgimento mais provável) que corresponde ao AT e DP mais frequentes neste tipo de trabalho em obras subterrâneas?**”

5.2. Historial de AT e DP

Historicamente, os túneis têm vindo a ser propensos à ocorrência de acidentes com diversas vítimas [2]. Nas Tabelas 3 e 4, expõe-se algumas taxas de sinistralidade obtidas a partir do estudo realizada por Gánez [239].

Tab.3-Número de acidentes por túnel (adaptado de [239])

Nome	Anos construção	Comp (km)	ATM/ km
<i>Hauenstein</i>	1853-58	2	26,2
S. Gotardo	1872-82	15	11,8
Monte Branco	1956-62	12	1,40
<i>Seikan</i>	1970-87	90	0,40
<i>Argentera</i>	1882-90	4	3,50
Mancha	1988-95	53	0,11
Projeto <i>Alptransit</i>	1999-2011	102	0,14
<i>Crossrail</i>	2009-2015	42	0,02

Tab.4-Número de mortes/km [239]

Intervalo temporal	Mortes / km	Km / Morte
1870-1900	4-12	0,08-0,25
1950-1965	1-1,5	0,66-1,00
1965-1980	0,35	3,00
1980-1995	0,05	20,00
1995-2010	<0,05	>20,00

Saliente-se que o rácio atingido pelo *Crossrail* é muito mais baixo do que em projetos anteriores [131], evidenciando a tendência de decréscimo de número de AT.

Em termos de doenças profissionais, saliente-se a silicose. A silicose passa a ser assumida pela sociedade como altamente problemática após o ocorrido no Túnel de Hawk Nest [140], West Virginia, nos EUA, entre 1927-1930. Considerado um dos piores desastres de sempre [147], constitui o ponto de viragem na perceção da sociedade quanto a este problema de foro pulmonar. Este túnel foi promovido pela Union Carbide Chemicals Corporation para abastecimento de água a uma central de geração elétrica, tendo sido construído num ambiente de crise económica, grande procura de emprego e muitas pressões para acabar o mais cedo possível [240]. O túnel, de 4,8km de comprimento e 9,1m de diâmetro [240], era escavado com furação por via seca, tendo elevadíssimas concentrações de poeiras contendo sílica [140], sem que fosse aplicado qualquer tipo de

sistema de ventilação [240] ou humidificação, alegadamente para poupar tempo [147]. Os trabalhadores não utilizavam qualquer tipo de proteção, ao contrário dos técnicos de obra, que utilizavam máscaras de proteção, o que demonstra o seu conhecimento sobre o risco [147]. Logo no primeiro ano, diversos trabalhadores faleceram com doenças respiratórias [140]: dos cerca de 2500 trabalhadores que estiveram no túnel, bastantes – o número de mortes é incerto, sendo que o empreiteiro alegava 65 e o dono de Obra alega 109 [147] – faleceram de problemas pulmonares e cerca de 1500 desenvolveram a doença. Em 1936, o tribunal considerou como provadas 436 mortes por esta causa [240]. O que torna este número mais impressionante ainda é o facto de a maior parte dos trabalhadores ter trabalhado 6 meses ou menos naquela obra. Hawk's Nest representa, assim, o maior recorde de epidemia de silicose aguda [140].

5.3. A importância de AT e das DP e da sua caracterização

A caracterização dos eventos mais típicos, entendendo a causa da sua ocorrência ou surgimento, é de grande importância para a sua prevenção [241] e para a determinação dos perigos existentes. Permite, assim, estabelecer prioridades, focando a atenção em cenários com maior prevalência e ou maiores consequências [111]. Assim, identificar e compreender as causas de um AT constitui um domínio imprescindível para isolar, controlar e eliminar fatores ocupacionais. Permite-se que, através da já assumida mais-valia da aprendizagem com os erros cometidos [242], a análise de acidentes “*ganhe mais espaço como ferramenta para a prevenção dos mesmos*” [106]. Assim, permite-se que sejam estudadas atempadamente eventuais causas de ocorrências danosas [243]. Com estas vantagens, as empresas podem rentabilizar melhor as suas decisões e os seus custos [244].

Relativamente aos AT, as DP apresentam algumas particularidades específicas:

- No caso de AT, o efeito é visível de imediato ou a muito curto prazo, enquanto na DP o efeito pode ser a longo prazo, facto que pode levar a subdiagnósticos, dado que é difícil, depois da morte do trabalhador, avaliar as condições de trabalho a que este esteve sujeito;
- No AT, as causas estão quase sempre relacionadas com fatores presentes no local de trabalho, enquanto nas DP existem outros fatores que podem influenciar o seu aparecimento, tal como fatores genéticos [218].
- O tempo perdido por doenças profissionais é significativamente superior ao perdido por acidentes de trabalho [108].

É amplamente reconhecido que os trabalhadores do setor da construção enfrentam maiores riscos de desenvolver certos problemas de saúde do que os restantes trabalhadores [245]. Algo que contribui para estes números é o facto de, na construção, os trabalhadores poderem estar expostos em simultâneo a mais de um fator que afeta a saúde física, sendo certo que cerca de 65% dos trabalhadores estão expostos a um ou mais fatores [246].

5.4. Metodologia para tipificação de acidentes de trabalho e doenças profissionais

A investigação agora apresentada foi realizada através da análise de diversas variáveis, que permitem não só caracterizar o sinistrado/doente do AT/DP mais típicos, mas também descrever o respetivo enquadramento da ocorrência. Refere-se desde já que não foi viável realizar uma investigação diferenciando os dois métodos de escavação, dado não existirem dados triados que o permitam fazer.

A compilação de dados estatísticos apresentada neste estudo foi realizada em duas vertentes: uma para o setor da construção (CONST), outra para as obras subterrâneas (TUNLG). Deste modo, pretende-se consumir a comparação entre as duas atividades, salientando as especificidades das OS. No caso presente, pretende-se a utilização de um método que permita caracterizar o mais objetivamente possível as circunstâncias e as causas primárias de ocorrência de um AT.

5.4.1. Metodologia para tipificação de acidentes de trabalho

5.4.1.1. Introdução

Existem diversas metodologias de análise de AT cuja escolha depende dos objetivos e do grau de profundidade que se pretende atingir. A metodologia escolhida para a análise de AT teve em conta as variáveis analisadas nas Estatísticas Europeias de Acidentes de Trabalho (EEAT) (Tabela 5), dado corresponder a uma metodologia aceite a nível europeu e aplicada a nível mundial, pois é muito similar ao sistema proposto pela OIT [247]. As fases indicadas correspondem às diferentes etapas de implementação, a nível europeu, da utilização das variáveis.

Tab.5-Variáveis do EEAT por fases de implementação

Fase I (1993)	Fase II (1996)	Fase III (2001)
Número processo	Dimensão da empresa	Posto de trabalho
Atividade económica do empregador	Nacionalidade	Tipo de local
Função do sinistrado	Situação profissional	Tipo de trabalho
Idade do sinistrado	Dias perdidos	Atividade física específica
Sexo do sinistrado		Agente material da atividade física específica
Tipo de lesão		Desvio
Parte do corpo atingida		Agente material do desvio
Localização geográfica		Contacto
Data do acidente		Agente material do contacto
Hora do acidente		Ponderação

5.4.1.2. Variáveis adotadas

As variáveis escolhidas para análise foram: função, dia da semana (esta variável foi alterada do seu nome original "Data"), hora, local, atividade física específica, desvio, contacto, agente material do desvio; número de dias perdidos. Assim, garantiu-se que se consegue caracterizar minimamente o acidente, tanto em termos de caracterização do sinistrado como em termos de caracterização da situação que levou ao AT. Atendendo a que algumas respostas a variáveis não se adequam a obras subterrâneas, foram realizadas alterações a essas possibilidades de respostas criando divisões mais adequadas aos objetivos pretendidos. Não houve alteração

ao título atribuído pelo Eurostat à variável, salvo no caso de "Data". Apresenta-se abaixo os novos conjuntos de respostas.

Função do sinistrado: "Engenheiro, encarregado, técnico de obra", "Mineiro", "Operador de jumbo", "Operador de robô de projeção", "Operador de equipamento de elevação", "Condutor manobrador", "Operador de substâncias explosivas", "Serralheiro/soldador", "Eletricista/mecânico", "Topógrafo", "Carpinteiro de cofragem", "Impermeabilizador", "Montador de armaduras", "Motorista de caminhão ou autobetoneira", "Montador de andaimes", "Servente".

Local onde ocorreu o AT: "Frente de escavação", "A menos de 50m da frente de escavação", "Entre escavação e rebaixo para sapata", "Na zona de rebaixo de sapata", "Na zona de impermeabilização", "Na zona de montagem de armaduras", "Na zona de cofragem e betonagem", "Estaleiro".

Desvio: Foram subdivididos os campos "problema elétrico/explosão/incêndio". Em "Rutura, arrombamento, rebentamento, resvalamento, queda, desmoronamento de agente material", foi retirado "arrombamento" e acrescentado "colapso de estruturas e capotamento de equipamentos". Em "Surpresa, susto, violência, ameaça, agressão" foi incluído o stresse.

Agente: Foram retirados "Edifícios, construções, superfícies, ao nível do solo", "Edifícios, construções, superfícies, acima do solo", "Edifícios, construções, superfícies, abaixo do solo". Em termos de ferramentas, manuais ou mecânicas, foram todas agrupadas na mesma variável, e o campo "Máquinas e equipamentos fixos" passou a denominar-se "Equipamentos fixos". "Dispositivos de transporte e de armazenamento" desapareceu. O campo "outros veículos" desapareceu e englobou-se todos os veículos no mesmo campo. O campo "Máquinas e equipamentos portáteis ou móveis" passou a "Equipamentos portáteis ou móveis". O campo "Materiais, objetos, produtos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras" passou a "Objetos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras, partículas incandescentes, betão". "Substâncias químicas, explosivas, radioativas, biológicas" foi subdividido em "Gases derivados de explosivos ou de incêndio", "Gases naturais", "Outras substâncias químicas", "Radiações ionizantes e não ionizantes", "Substâncias biológicas". Dada a especificidade da obra subterrânea, foram incluídos "Diferença de temperatura ou de pressão", "Blocos rochosos provenientes de talude, emboquilhamentos, face de escavação, hasteais ou abóbadas em galerias", "Torrões de betão projetado", "Escadas, andaimes, plataformas de trabalho".

Durante o levantamento de informação quanto a caracterização do AT foi necessário criar um documento onde se pudesse compilar e sistematizar a informação obtida. Para tal foi criada uma "Ficha de Levantamento de Ocorrência" (FLO) que foi preenchida para cada AT estudado. Os dados estatísticos apresentados nos resultados resultam do tratamento dos dados constantes em cada uma destas FLO.

5.4.1.3. Validação de inquérito via método de Delphi

Uma vez que foram feitas alterações a possibilidades de resposta a variáveis do Eurostat e de modo a garantir a credibilidade e adequabilidade dos novos conjuntos de respostas a variáveis, foi necessário proceder à

validação desta nova estrutura de respostas a constar na FLO. Para tal, foi utilizado o método de Delphi, técnica de decisão em grupo, de modo a proporcionar, através de inquérito anónimo (de modo a evitar influências) [248], uma obtenção de *feedback* controlado, para garantir uma convergência de opiniões entre os peritos inquiridos [249].

O nome Delphi provém do Oráculo de Apolo, em Delfos [250], onde as sacerdotisas, através de rituais mágicos, emitiam opiniões sobre decisões relevantes (foi tão influente que o local foi reconhecido pela UNESCO como Património Mundial).

Uma das origens mais atuais referenciadas para este método é a Rand Corporation, instituição de pesquisa, planeamento e análise associada ao Departamento de Defesa dos EUA, nos anos 60 do séc. XX [250]. Este laboratório de investigação, situado em Santa Mónica, na Califórnia, estava diretamente ligado a assuntos militares, tanto para o desenvolvimento de novas tecnologias como para análise de potenciais cenários políticos. Na altura da sua primeira utilização, existia uma grande preocupação quanto às capacidades militares de resposta dos EUA perante ameaças exteriores. Diversos métodos, teóricos e quantitativos, foram experimentados, mas sem resultado prático. O Projeto Delphi, lançado por Olaf Helmer, Norman Dalkey e Nicholas Escher [248], foi criado com o objetivo de conseguir um conjunto de opiniões fiáveis de especialistas mediante o preenchimento de um questionário (evitando o confronto direto), controlando gradualmente as opiniões emitidas [251]. Neste cenário, aparecem, em 1963, os primeiros resultados do Projeto Delphi. O assunto debatido neste Projeto, através do dito método, num painel de inquiridos composto por 7 especialistas – 4 economistas, 1 físico, 1 analista de sistemas e 1 engenheiro eletrotécnico [251], foi a seleção, do ponto de vista estratégico, de uma estimativa de alvos e bombas necessários para reduzir a capacidade produtiva de armamento até um determinado nível [251].

O método de Delphi, na sua forma atual, mantém os pressupostos originais e consiste numa técnica de decisão em grupo de especialistas (técnica importada das Ciências Sociais), de modo a proporcionar, através de inquérito anónimo [248], um *feedback* controlado, para garantir uma convergência de opiniões entre peritos de áreas específicas [249]. A interação controlada representa uma tentativa deliberada de evitar as desvantagens associadas a um uso mais convencional de especialistas, tais como mesas redondas ou confronto direto [249], em que um confronto direto pode levar ao aparecimento de predominância de opiniões ou tentativa exagerada de manter as primeiras opiniões. Vários autores abordam o método de modos diferentes, mas mantêm sempre pelo menos quatro características principais: o anonimato dos especialistas respondentes, a aplicação de rondas iterativas, o *feedback* controlado para reavaliação em rondas subsequentes, a representação estatística da distribuição dos resultados. Num pressuposto iterativo, são feitas diversas rondas de perguntas, sendo que os participantes têm acesso aos resultados do ciclo anterior, através de um sumário de ideias. Com base nesta informação, os especialistas têm a oportunidade de manter ou rever a sua posição, ou apresentar novos argumentos. Ao fim de alguns ciclos, chega-se a uma solução, ou conjunto de soluções, que é convergente, consensual e reconhecida pela generalidade dos participantes como consensual [250].

Os principais critérios para término do inquérito são: o consenso, quando exista uma concordância acima dos 50% da amostra, e a pluralidade, nos casos em que ocorre uma grande porção de participantes concordantes, mas inferior a 50% de toda a amostra [249].

O método Delphi apresenta as seguintes vantagens:

- Permite ultrapassar a barreira geográfica dos inquiridos;
- O uso de questionários com respostas escritas leva a uma maior reflexão e cuidado nas respostas, em comparação com uma discussão em grupo;
- Se os especialistas forem os adequados, obtêm-se dados mais precisos;
- O anonimato facilita a liberdade de expressão, elimina a influência de fatores como a hierarquia académica ou profissional do inquirido, ou sua capacidade oratória, na consideração da validade dos seus argumentos, reduz a influência de fatores psicológicos, como os efeitos da capacidade de persuasão ou da relutância em abandonar posições assumidas, e a dominância de grupos majoritários em relação a opiniões minoritárias;
- A Internet propicia contactos mais simples e sem custos de preparação e envio do inquérito.

O inquérito foi levado a cabo em dezembro de 2015. Dado pretender apostar-se na qualidade da informação obtida, optou-se pelo número de 15 inquiridos, entre especialistas nacionais e internacionais, pois da revisão bibliográfica realizada conclui-se que este é um número razoável para gerar informações relevantes [250].

Os critérios para escolha de inquiridos foram: possuírem uma ligação à área das obras subterrâneas (quer na função de promoção, projeto, construção, fiscalização de obra, investigação ou docência, quer na vertente mais ligada à produção, quer na vertente mais ligada a áreas como a prevenção), e terem um mínimo de 2 anos de experiência neste tipo de obras.

No sentido de se manter o anonimato, não serão divulgados os nomes das pessoas intervenientes. Na Tabela 6 caracteriza-se o seu país de origem, o tipo de entidade empregadora e a função.

Tab.6- Caracterização do painel de inquiridos

País	Tipo de empresa	Função	Anos experiência
Portugal	Fornecedor	Diretor Técnico/Comercial	26
Portugal	Universidade	Professor Auxiliar	10
Portugal	Dono de Obra	Supervisão Coord. Seg. Obra	6
Portugal	Dono de Obra	Ex-Diretor de Engenharia	20
Portugal	Consultor	Coord. Seg. e Saúde Obra	9
Portugal	E. Executante	Gestor de Segurança	10
Portugal	Consultor	Coord. Seg. e Saúde Obra	7
Itália	Fornecedor	Diretor SST	13
Suécia	Fornecedor	Diretor SST	7
Portugal	Dono de Obra	Responsável Segurança Obra	6
China	Universidade	Professor Associado	9
Portugal	Dono de Obra	Assessor Técnico	4
Brasil	Fornecedor	Gerente Filial	16
Portugal	Fornecedor	Responsável Negócio Túneis	11
Portugal	Consultor	Coord. Seg. e Saúde Obra	5

O inquérito foi implementado por correio eletrónico, através de uma mensagem, onde se descreveram os objetivos do projeto geral e o objetivo de cada ronda específica. Estes respondentes avaliaram a proposta inicial de respostas a variáveis que, após rececionadas as respostas, foram então modificadas para realizar o estudo consoante as opiniões dadas.

O número de rodadas é variável consoante o tipo de estudo, não sendo aconselhável um número superior a 4, em virtude de restrições de tempo e pelo facto de não existirem mudanças de opinião significativas nas rodadas posteriores. No entanto, nada impede que se faça um número menor de rodadas, desde que os objetivos tenham sido atingidos. Foi este o caso no nosso estudo, pois na segunda rodada foi obtida uma aceitação inequívoca e unânime dos conteúdos propostos.

Inclui-se na Tabela 7 a versão final da FLO implementada, que integra os comentários dos inquiridos.

Tab.7-Versão final de FLO após validação através do método Delphi

Função sinistrado do	Engenheiro, encarregado, técnico de obra	Eletricista / mecânico	
	Mineiro	Topógrafo	
	Operador de Jumbo	Carpinteiro de cofragem	
	Operador de robô de projeção	Impermeabilizador	
	Operador de equipamento de elevação	Montador de armaduras	
	Condutor manobrador	Motorista de camião ou autobetoneira	
	Operador de substâncias explosivas	Montador de andaimes	
	Serralheiro / Soldador	Servente	
Idade do sinistrado	Entre os 18 e 24 anos	Entre os 45 e 54 anos	
	Entre os 25 e 34 anos	Entre os 55 e 64 anos	
	Entre os 35 e 44 anos	Mais de 65	
Dia da semana	Segunda-feira	Quinta-feira	
	Terça-feira	Sexta-feira	
	Quarta-feira	Sábado / Domingo	
Hora	Das 8h às 10h	Das 14h às 17h	
	Das 10h às 12h	Das 17h às 20h	
	Das 12h às 14h	Das 20h às 8h	
Local	Frente de escavação	Na zona de impermeabilização	
	A menos de 50m da frente de escavação	Na zona de montagem de armaduras	
	Entre escavação e rebaixo para sapata	Na zona de cofragem/betonage006Dx	
	Na zona de rebaixo de sapata	Estaleiro	
Atividade específica que desenvolvia	Operação de máquina		
	Trabalho com ferramentas de mão		
	Condução ou presença em equipamento		
	Manipulação de objetos		
	Transporte manual		
	Movimento		
	Outra		
Desvio	Eletrização / eletrocussão		
	Detonação extemporânea		
	Incêndio		
	Transbordo, derrubamento, fuga, escoamento, vaporização, emissão		
	Rutura, rebentamento, resvalamento, queda, desmoronamento, colapso de estruturas		
	Perda, total ou parcial, de controlo de máquina ou equipamento		

	Escorregamento ou hesitação com queda em altura	
	Escorregamento ou hesitação com queda ao mesmo nível	
	Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (lesão externa) – corte	
	Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (lesão interna) – atropelamento, entalamento, esmagamento, choque, amputação, lesões musculoesqueléticas	
	Presença de substâncias biológicas	
	Surpresa, susto, violência, presença, stresse	
Agente material do desvio	Dispositivos de distribuição de matéria, de alimentação, canalizações	
	Motores, dispositivos de transmissão e de armazenamento de energia	
	Ferramentas mecânicas ou manuais	
	Equipamentos portáteis ou móveis	
	Equipamentos fixos	
	Veículos terrestres / sobre carris	
	Objetos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras, partículas incandescentes, betão	
	Gases derivados de detonação de explosivos ou de incêndio	
	Gases naturais	
	Outras substâncias químicas	
	Radiações ionizantes e não ionizantes	
	Substâncias biológicas	
	Dispositivos e equipamentos de segurança	
	Diferenças de temperatura ou pressão	
	Blocos rochosos de emboquilhamento, face escavação, hasteais ou abóbadas em galerias	
	Torrões de betão projetado	
	Escadas, andaimes, plataformas de trabalho	
	Resíduos diversos	
Fenómenos físicos e elementos naturais		
Contacto – modalidade da lesão	Contacto com corrente elétrica, temperatura, substância perigosa	
	Afogamento, soterramento, envolvimento	
	Esmagamento em movimento vertical ou horizontal sobre / contra um objeto imóvel	
	Pancada por objeto em movimento, colisão com	
	Contacto com agente material cortante, afiado, áspero	
	Entalção, esmagamento	
	Constrangimento físico do corpo, constrangimento psíquico	
	Mordedura, pontapé	
Outro contacto		
Tipo de lesão	Feridas e lesões superficiais	
	Fraturas	
	Deslocações, entorses e distensões	
	Amputações	
	Concussões e lesões internas	
	Envenenamentos, intoxicações, infeções	
	Afogamento, asfixia	
	Efeitos de ruído, vibrações ou pressão	
	Efeitos de temperatura extrema, luz, radiações	
	Choque	
	Corpos estranhos nos olhos	
Parte do corpo atingida	Cabeça	
	Pescoço e vértebras	
	Costas e vértebras	
	Tórax e órgãos torácicos	
	Membros superiores	

	Membros inferiores	
Número de dias perdidos	Entre 4 e 6	
	Entre 7 e 13	
	Entre 14 e 20	
	Entre 21 e 30	
	Entre 30 e 90	
	Entre 90 e 180	
	Superior a 180 ou incapacidade permanente	
	Morte	

5.4.1.4. Recolha de dados internacional

Em termos internacionais e com o objetivo da caracterização apresentada ter um âmbito maior que o nacional, foi realizado um levantamento junto das principais instituições oficiais na área, o Eurostat e a OIT.

a) Eurostat

Para análise dos dados do Eurostat, estabeleceu-se um contacto com a central de suporte do Eurostat, tendo-se obtido a seguinte informação:

- “Construção”: foram analisados os dados relativos a 2013 e constantes no website. Foram também analisados os dados relativos ao período 2003-2005 disponíveis no site da Comissão Europeia para os casos em que as variáveis não se encontravam disponíveis para o ano de 2013.

- “Obras subterrâneas”: face aos limitados dados disponíveis, foi impossível extrair dados específicos.

Com este cenário, não se torna viável utilizar os dados fornecidos pelo Eurostat.

b) Organização Internacional do Trabalho (OIT)

Este organismo gere uma base de dados estatística de acidentes de trabalho a nível mundial – Laborsta – que traduz as estatísticas oficiais, apresentadas ao Bureau of Labor Statistics da OIT (OIT, 2008) por diversas agências de relevância nacional. A Laborsta contabiliza todos os acidentes de trabalho mortais e acidentes de trabalho que geram, pelo menos, 1 dia de ausência. Ao contrário do Eurostat, a OIT não faz a separação por variáveis, o que dificulta a utilização de dados desta fonte. Outra das dificuldades relaciona-se com o facto de os dados sobre AT não se encontrarem atualizados, devido a alguns atrasos por parte de países membros da OIT [252].

Os dados estatísticos analisados desta fonte não permitem aferir tendências em termos europeus ou relativamente a Portugal. Além disso, os dados disponíveis, embora identifiquem por país, referem-se a índices de sinistralidade, número total de ATM e ATNM e dias perdidos por atividade. Tendo sido feito um contacto pessoal com os escritórios da OIT em Lisboa, verificou-se não existirem dados que pudessem ser úteis para a análise em questão. Assim, conclui-se que os dados disponíveis da OIT não se revelam úteis para o atual estudo no que se refere a “Construção” e a “Obras subterrâneas”. Não estando disponíveis respostas do Eurostat e OIT que possam dar origem a dados que possam ser utilizados, o autor decidiu implementar um inquérito via correio eletrónico, a nível mundial.

Foi feito um primeiro levantamento de informação, a nível mundial, para aferir qual a maior causa de acidentes de trabalho mortais nos últimos 2 anos (não foi estipulado um período de tempo superior para não aumentar o risco de os inquiridos se retraírem na resposta).

c) **Instituições de carácter inspetivo a nível internacional**

Para a obtenção de contactos nas instituições de inspeção estrangeiras, considerando que, por cada país, iria ser contactada a instituição responsável pela investigação de AT ocorridos, tomou-se como ponto de partida a base de dados do *Working Group "Safety and Health at Works"* da *International Tunnelling Association* e a base de dados da *Senior Labour Inspectorate Commission*, a partir das quais se estabeleceram contactos individuais com as entidades escolhidas, em 47 países.

Os contactos com estas entidades visaram aferir qual a maior causa de acidentes de trabalho mortais nos últimos 2 anos em cada país (não foi estipulado um período de tempo superior para não aumentar o risco de os inquiridos se retraírem na resposta).

Os contactos foram estabelecidos, tendo sido recolhida alguma informação (alguns dos países disponibilizaram informação interessante num curto espaço de tempo). No entanto, esta não reuniu um volume suficiente que pudesse revelar-se como fidedigno para uma investigação como a presente.

Embora o investimento em termos de tempo nesta fase do estudo tenha sido, de facto, substancial – o esforço de uma abordagem mundial não poderia deixar de ser realizado – o autor optou por não considerar a informação obtida neste inquérito para os dados estatísticos analisados, pois o reduzido número de respostas obtidas (19 países disponibilizaram dados, correspondentes a 12 ATM) poderia interferir na validade do estudo.

O reduzido número de respostas sobre ATM obtidas prende-se com diversas questões:

- Alguns dos endereços de correio eletrónico utilizados poderiam estar incorretos, especialmente por provirem de fontes já desatualizadas;
- O inquérito pode ter sido identificado como *spam* em algumas caixas de correio;
- Pode ter havido questões culturais ligadas a reticências na divulgação de dados para o exterior;
- O período sobre o qual se pediu informação sobre ATM corresponde a um período em que, em alguns casos, os ATM ainda se encontram sob investigação ou em tribunal, criando assim limitações à divulgação de pormenores.

Na impossibilidade de obter dados internacionais, foi realizada uma recolha de dados a nível nacional.

5.4.1.5. Recolha de dados a nível nacional

Foi realizado um levantamento a nível nacional junto de instituições oficiais, como a Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT) e o Gabinete de Estratégia e Planeamento do Ministério do Trabalho e da Segurança Social (GEP).

Relativamente ao processo de recolha de dados de AT, é sabido que os dados existentes sobre AT em Portugal não são exaustivos e encontram-se bastante dispersos, havendo diferenças significativas entre as estatísticas apresentadas pelos diferentes organismos [106]. Assim, torna-se difícil identificar qual é a fonte de dados mais fiável. Optou-se por considerar os dados fornecidos pelo GEP (Gabinete de Estratégia e Planeamento), por corresponderem a dados de seguradoras e cumprirem as diretrizes europeias, o que os torna mais fiáveis [242].

a) **Autoridade para as Condições de Trabalho**

A Autoridade para as Condições de Trabalho (ACT) tem como missão promover a melhoria das condições de trabalho, no quadro dos contextos sociais, económicos, tecnológicos e organizacionais. Compete à ACT a análise de inquéritos de acidentes de trabalho mortais ou particularmente graves, que deverão ser comunicados à mesma pelas entidades empregadoras.

Foi solicitada à ACT a disponibilização dos relatórios de AT graves e mortais ocorridos em anos passados. Infelizmente, a resposta foi negativa, não nos tendo sido possível aceder aos referidos relatórios.

b) **Gabinete de Estratégia e Planeamento**

O Gabinete de Estratégia e Planeamento (GEP) tem como missão garantir o apoio técnico ao planeamento estratégico e operacional e à formulação de políticas internas e internacionais do Ministério do Trabalho e Segurança Social. Este organismo é o responsável nacional por fornecer os dados estatísticos sobre AT ao Eurostat, dado utilizar uma metodologia de recolha de dados que cumpre o previsto pelo projeto EEAT.

Os dados estudados, obtidos entre os meses de janeiro e março de 2016, tiveram como origem:

- uma seriação, fornecida pelo GEP, dos AT ocorridos na construção e na classe “024-subterrâneo” durante o ano de 2013 (aquando da recolha de dados, o GEP não possuía dados de 2014);

- atendendo que o GEP não dispunha de dados relativos aos anos de 2014 e 2015, e de modo a saber se esses anos seguiam as tendências reveladas nos dados do GEP de 2013, foi realizado um levantamento, junto de empresas promotoras e construtoras deste tipo de obras, dos AT ocorridos em 2014 e 2015. As empresas escolhidas foram duas das empresas mais conceituadas a nível nacional, quer em termos de DO (EDP), quer em termos de EE (EPOS). Foi também recolhida informação relativa aos AT ocorridos na obra do TdM dado o autor, pelas funções que assumiu, possuir informação organizada e sistematizada sobre estes. A informação foi recebida pelo autor por correio eletrónico, em formato de mapas onde constavam os dados de caracterização de AT.

Foram analisados um total de 150 AT (mortais e não-mortais) ocorridos, entre 2012 e 2015 (Tabela 8).

Tab.8-Número de AT analisados

	Período tempo	Nº AT
G.E.P.	2013	84
EDP	2012-2015	41
EPOS	2013-2015	13
TdM	2014-2016	12
	TOTAL	150

As circunstâncias dos AT foram escalpelizadas, de modo a evitar, pela sobreposição de anos, a análise repetida de AT.

Nos casos em que não foram encontrados dados estatísticos relativamente às possibilidades de respostas a variáveis, estes não serão apresentados (indica-se “n.d.”).

5.4.1.6. Apresentação de resultados

Os resultados das análises a variáveis na ocorrência de AT serão apresentados através de uma tabela específica (Tabela 9), onde se incluem as fontes de informação e as hipóteses de resposta.

Tab.9-Modelo de tabela de apresentação de resultados

FONTE / OPÇÕES	Hipótese 1	Hipótese 2	Hipótese 3
SETOR CONSTRUÇÃO			
GEP – AT			
SETOR CONSTRUÇÃO–OBRAS SUBTERRÂNEAS			
GEP			
EMP			

Embora ciente da relevância de uma análise mais profunda a cada um dos AT, esta não será realizada no presente trabalho, devido à falta da informação necessária nos relatórios de AT (que peca por ser escassa e pouco pormenorizada) e ao facto de os acidentados e testemunhas serem difíceis, ou impossíveis, de localizar, “impedindo a verdadeira perceção das causas básicas que contribuem para a ocorrência de acidentes, camuflando a real dimensão do problema” [106]. Fica, assim, aberta uma porta para estudos posteriores sobre as causas básicas de ocorrência de AT e DP.

5.4.2. Metodologia para tipificação de doenças profissionais

5.4.2.1. Introdução

O projeto-piloto EODS (European Occupational Diseases Statistics), o sistema estatístico da União Europeia, no âmbito do Eurostat, foi lançado em 2000 e tinha como objetivo principal harmonizar as estatísticas de doenças profissionais ao nível dos Estados Membros. No entanto, surgiram diversas dificuldades na implementação desta metodologia, tais como diferentes critérios de reconhecimento de DP ou diferentes modos de registar as DP em cada país, facto que levou a dificuldades na uniformização. Tudo isto colocou bastantes entraves à implementação do EODS, tendo este sido encerrado em 2009. Em 2016, estavam a decorrer preparativos para reabrir a base de dados do EODS, mas sem informação objetiva quanto a datas.

Consideramos pertinente para este estudo fazer o enquadramento histórico do enquadramento das DP. Tudo começou com a criação, em 1962, da Caixa Nacional de Seguros de Doenças Profissionais, entidade encarregue de fazer a reparação clínica e medicamentosa e de conceder prestações pecuniárias (pensões) e em espécie aos indivíduos atingidos por doença profissional. Na altura, chamavam-lhe officiosamente a “Caixa da Silicose”, aludindo à doença que se revelava importante para os mineiros, já que um dos principais âmbitos eram precisamente as Minas, Pedreiras e Barragens, onde as doenças profissionais eram principalmente do foro respiratório. Na altura, surge também o Laboratório de Análise de Poeiras, com o objetivo de prevenir os

riscos associados à inalação das mesmas. Na década de 70, a Caixa alarga a sua atividade às empresas onde já se registava dermatose profissional, como as da indústria química. Em termos nacionais, o Instituto da Segurança Social (ISS), através do seu Departamento de Proteção contra Riscos Profissionais (consequência da já referida Caixa Nacional), é atualmente o responsável pela produção de estatísticas de doenças profissionais no setor privado e pela certificação das mesmas.

5.4.2.2. Variáveis adotadas

Em relação às DP, será também utilizada a metodologia proposta pelo Eurostat; neste caso, baseada no European Occupational Diseases Statistics. As variáveis estudadas pelo EODS foram: país, idade, sexo, função, atividade do empregador, diagnóstico, severidade, exposição-causa, exposição-agente material, ano de reconhecimento, severidade de primeiro reconhecimento. Para o presente estudo, foram escolhidas as variáveis “Função”, “Idade” e “Diagnóstico”, pois são aquelas que permitem caracterizar minimamente o enquadramento do surgimento da DP.

5.4.2.3. Recolha de dados

A fonte de informação dos dados de DP analisados foi o Instituto da Segurança Social, através do seu Departamento de Proteção contra Riscos Profissionais, que forneceu informação detalhada sobre 1615 DP certificadas entre 2000 e 2015, no setor da CONST, e de 42 DP certificadas entre 2001 e 2015, em “Obras subterrâneas”.

5.4.2.4. Apresentação de resultados

Os resultados das análises a variáveis na ocorrência de AT serão apresentados numa tabela específica (Tabela 10), onde são referidas as fontes de informação e as hipóteses de resposta.

Tab.10-Modelo de tabela de apresentação de resultados

FONTE / OPÇÕES	Hipótese 1	Hipótese 2	Hipótese 3
SETOR CONSTRUÇÃO			
Eurostat			
SETOR CONSTRUÇÃO–OBRAS SUBTERRÂNEAS			
ISS			

5.5. Resultados e discussão

Este capítulo pretende expor os resultados obtidos quanto aos dados estatísticos de AT e DP.

A cada um destes temas corresponde um determinado número de variáveis, previstas pelo Eurostat, aqui em análise. Para cada variável serão apresentados os resultados do levantamento de informação no GEP e nas empresas (para o caso de AT), e no ISS (para o caso de DP).

De salientar o comentário introdutório do editor da Tunnels & Tunnelling, na edição de agosto de 2017 (em que o autor publicou um artigo sobre a temática), a esta abordagem “*A look at statistics for health and safety incidents by the Portuguese University ascertains some rules of thumb for determining statistically likely hazardous situations....validate beliefs regarding the most frequent incidents*”.

5.5.1. Tipificação de acidente de trabalho mais frequente

5.5.1.1. Função do sinistrado

Apresentam-se, na Tabela 11, os resultados obtidos quanto à variável “Função do sinistrado”.

Tab.11-Percentagem de AT por função

FUNTE / OPÇÕES	Engenheiro, encarregado, técnico de obra	Mineiro / marteleiro *	Condutor manobrador / motorista**	Operador de substâncias explosivas	Serralheiro / Soldador	Eletricista / mecânico / topógrafo	Carpinteiro de cofragem / trolha / pedreiro	Impermeabilizador	Montador de armaduras	Montador de andaimes	Servente / outro / sem inf.
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL											
GEP	Os dados disponíveis não incluem estas funções										
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS											
GEP	Os dados disponíveis não incluem estas funções										
EMP	10,6	13,6	27,4	0,0	4,5	4,5	13,6	6,1	9,1	4,5	6,1

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

* - Inclui operadores de fogo; ** - Foram agrupadas as funções de manobrador, operador de robô e operador de Jumbo.

- “CONST” - n.d.

- “TUNLG”

GEP - n.d.

EMP - “Condutores/manobradores/motoristas” (27,4%), “Mineiro/marteleiro (13,6%), e “Carpinteiros de cofragem/trolha/pedreiro” (13,6%).

Relativamente à principal função afetada, “Condutores/manobradores/motoristas” (com uma diferença bastante relevante quanto ao lugar seguinte), este facto pode ser justificado pela especificidade dos processos construtivos, que obrigam à utilização massiva de condutores manobradores e motoristas, seja para a furação, transporte de terras e betonagens, no caso do MEC, seja para transporte de materiais e equipamentos

(designadamente através de veículos sobre carris), no caso do MET [80]. A segunda função mais afetada é “Mineiro/marteleiro”. Tal pode ser explicado, designadamente no caso do MEC, pela elevada exposição a riscos associados à permanência junto à frente de escavação, tais como a queda de blocos de frente de escavação ou o atropelamento [80]. A função “Carpinteiros de cofragem/trolha/pedreiro”, terceira mais afetada com AT e predominante no MEC, pode ser justificada pelo facto de os carpinteiros de cofragem estarem a utilizar e em contacto permanente com estruturas temporárias, fixas e móveis, de peso elevado, formas assimétricas e arestas cortantes, designadamente, moldes de cofragem de revestimento definitivo (quer para execução de sapatas, quer para execução de secção transversal plena ou galerias transversais/obliquas).

5.5.1.2. Idade do sinistrado

Apresentam-se, na Tabela 12, os resultados obtidos quanto à variável “Idade do sinistrado”.

Tab.12-Percentagem de AT por idade

FORTE / OPÇÕES	Menos de 18	Entre 18 e 24	Entre 25 e 34	Entre 35 e 44	Entre 45 e 54	Entre 55 e 64	Mais de 65	Desconhecida	Sem informação	Média
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL										
GEP	0,2	5,6	19,6	31,8	28,0	12,5	0,6	1,7	--	42,0
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS										
GEP	0,0	6,0	25,0	33,3	26,2	8,3	0,0	0,0	0,0	39,7
EMP	0,0	10,6	15,2	28,8	37,8	7,6	0,0	0,0	--	41,3

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Entre 35 e 44”(31,8%)e “Entre 45 e 54 anos” (28,0%), com uma média de 42 anos.

- “TUNLG”

GEP - “Entre 35 e 44 anos” (33,3%) e “Entre 45 e 54 anos” (26,2%), com média de 39,7 anos.

EMP - “Entre 45 e 54 anos” (37,8%) e “Entre 35 e 44 anos” (28,8%), com média de 41,3 anos.

Tendo em conta que o GEP diz respeito a um período e as EMP a outro, irá ser assumido um valor médio entre as médias de idades obtidas. Considerar-se-á, assim, o valor de 40,5 anos. Verifica-se, portanto, que em TUNLG a média de idades é mais baixa do que em Construção.

A idade mais baixa dos acidentados em TUNLG, embora não relevante em termos quantitativos, pode ser explicada por vários fatores: menor maturidade física e psicológica; o facto de assumirem mais riscos, talvez para se afirmarem em frente a pares ou adultos [218]; menor experiência [242], com conseqüente maior incapacidade de identificar riscos [253]; desatenção; impulsividade; sobrestimação de capacidades; imprudência. Estes fatores podem ser exacerbados pela alta especificidade deste tipo de obra, que não se

compadece com lacunas de competências sociais, experiência ou formação. Os dados revelam também que o grupo etário “Entre os 55 e 64 anos” apresenta percentagens de acidentes menores em OS do que em Construção. Tal facto pode dever-se a vários motivos: os grupos etários mais velhos, para além da maior experiência, possuem maior nível de competências sociais, emocionais e técnicas [102], e maior conhecimento das tarefas. A obra subterrânea é um trabalho muito específico, onde se encontram trabalhadores com muitos anos de experiência, quer em mina, quer em TUNLG [80].

5.5.1.3. Dia da semana

Apresentam-se, na Tabela 13, os resultados obtidos quanto à variável “Dia da semana”.

Tab.13-Percentagem de AT por dia da semana

FORTE / OPÇÕES	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado / Domingo	Sem informação
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL							
GEP				n.d.			
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS							
GEP				n.d.			
EMP	16,7	15,2	7,6	16,7	10,6	10,6	22,6

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - n.d.

- “TUNLG”

GEP - n.d.

EMP - “Segunda-feira” (16,7%), “Quinta-feira” (16,7%), “Terça-feira” (15,2%).

Atendendo a que não existem dados sobre “CONST”, a comparação não poderá ser realizada. Não tendo sido possível encontrar indicação sobre o número de dias já trabalhados no turno nos dados de AT analisados, qualquer análise sobre esta variável deve ter em especial atenção o facto de existirem, em TUNLG, turnos rotativos: podem, por ex., iniciar trabalhos em qualquer dia da semana, fazendo com que a “Segunda-feira” tanto possa ser o primeiro como o último dia de trabalho, ou qualquer outro.

5.5.1.4. Hora

Apresentam-se, na Tabela 14, os resultados obtidos quanto à variável “Hora”.

Tab.14-Percentagem de AT por período horário

FONTE / OPÇÕES	Das 8h às 10h	Das 10h às 12h	Das 12h às 14h	Das 14h às 17h	Das 17h às 20h	Das 20h às 8h	Sem inf.
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL							
GEP				n.d.			
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS							
GEP				n.d.			
EMP	7,6	22,7	3,0	22,7	13,6	19,7	10,7

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- "CONST" - n.d.

- "TUNLG"

GEP – n.d.

EMP – “Das 10 às 12” (22,7%) e “Das 14 às 17h” (22,7%). Conjugando os dois períodos, “Das 17h às 20h” e “Das 20h às 8h”, a percentagem obtida torna-se relevante (33,3).

Embora não tenham sido obtidos dados do GEP, sabe-se que na CONST existe uma tendência para os períodos horários onde ocorre maior número de AT serem os períodos “Das 10h às 12h” e “Das 12h às 14h” [242].

Do acima indicado, conclui-se que, em TUNLG, o período em que ocorrem mais AT é no período tradicionalmente considerado como suplementar ou noturno (entre as 17h e as 20h e entre as 20h e as 8h), facto que pode ser justificado com os trabalhos realizados em regime de turnos ou mesmo em horário suplementar [80]. Estas são opções tradicionais (designadamente a primeira) em TUNLG, mas podem ter implicações no normal funcionamento e capacidade de resposta do corpo humano [80] e, conseqüentemente, estes horários correspondem a alturas mais propícias à ocorrência de AT [253], causados por fadiga mas também por menor supervisão [84]: neste horário existe, tendencialmente, um aligeiramento na supervisão de obra, que pode promover um aumento de atitudes mais negligentes e seguras por parte dos trabalhadores.

5.5.1.5. Local

Apresentam-se, na Tabela 15, os resultados obtidos quanto à variável “Local”.

Tab.15-Percentagem de AT por local

FORTE / OPÇÕES	Frente de escavação	A menos de 50m da frente de escavação	Entre escavação e rebaixo para sapata	Na zona de rebaixo de sapata	Na zona de impermeabilização	Na zona de montagem de armaduras	Na zona de cofragem /betonagem	Estaleiro / poço acesso / outro
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL								
GEP					n.d.			
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS								
GEP					n.d.			
EMP	10,6	4,5	12,1	1,5	3,0	10,6	22,9	34,8

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- "CONST" - n.d.

- "TUNLG"

GEP - n.d.

EMP - "Zona de cofragem e betonagem" (22,9%), "Entre escavação e rebaixo para sapata" (12,1%). Atendendo a que não existem dados sobre "CONST", a comparação não poderá ser realizada.

A zona onde ocorrem mais AT, "Zona de cofragem e betonagem", verificando-se uma percentagem muito diferente da segunda zona onde mais AT ocorrem, pode ser explicada pela elevada concentração de trabalhadores, equipamentos e materiais nas zonas de execução de revestimentos definitivos no túnel [9], quer com o MEC (na utilização de equipamentos móveis e diversos materiais para impermeabilização, montagem de armaduras e cofragem/betonagem), quer com o MET (na montagem de aduelas pré-fabricadas). Esta conjugação no mesmo local é propícia a ocorrência de AT [2], designadamente por atropelamento, entalamento ou esmagamento, e agravada pelo relevante volume de movimentação mecânica e manual de cargas. Os estudos de Kikkawa são consentâneos com estas percentagens quanto ao local onde ocorrem mais AT, indicando que a maior parte dos AT ocorrem nas frentes de revestimentos definitivos: 46,0% no caso do MEC, 50,6% no caso do MET [20]. A relevância da zona "Entre escavação e rebaixo para sapata" poderá estar relacionada com uma zona intermédia, onde se realizam tarefas acessórias a trabalhos na frente de escavação, e onde também se armazenam materiais e equipamentos (podendo também aí ser realizadas as operações de manutenção dos mesmos).

5.5.1.6. Atividade específica que desenvolvia

Apresentam-se, na Tabela 16, os resultados obtidos quanto quanto à variável "Atividade específica":

Tab.16-Percentagem de AT por atividade específica

Fonte / Opções	Operação de máquina	Trabalho com ferramentas de mão	Condução ou presença em equipamento	Manipulação de objetos	Transporte manual	Movimento	Presença	Outra	Desconhecido / sem inf.
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL									
GEP	1,4	31,7	0,9	10,7	24,6	22,5	0,3	0,0	7,9
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS									
GEP	8,3	39,3	0,0	14,3	1,2	20,2	0,0	0,0	15,5
EMP	7,6	16,6	10,6	39,4	3,0	16,7	0,0	0,0	6,1

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Trabalho com ferramentas de mão” (31,7%), “Transporte manual” (24,6%).

- “TUNLG”

GEP - “Trabalho com ferramentas de mão” (39,3%), “Movimento” (20,2%), “Manipulação de objetos” (14,3%).

EMP - “Manipulação de objetos” (39,4%), “Movimento” (16,7%) e “Trabalho com ferramentas de mão” (16,6%).

Uma vez que os dados obtidos via GEP e via EMP são diferentes, a análise focará estas três atividades em que mais AT ocorrem.

A percentagem expressiva de AT em OS ocorridos com “Trabalho com ferramentas de mão” pode explicar-se com a utilização de ferramentas para a montagem de dispositivos de estabilização (no MEC) e peças fabricadas (no MET), bem como para a manutenção e reparação de equipamentos, em que, geralmente, os trabalhadores se encontram bastante tempo com ferramentas de mão [80]. Os AT ocorridos durante “Manipulação de objetos” podem ser explicados pelo elevado número de objetos manuseados nos dois métodos: dispositivos de estabilização, blocos, rolos de sistemas de impermeabilização, varões para armaduras, painéis de cofragem, no caso do MEC, e aduelas pré-fabricadas, no caso do MET. Nos dois casos, temos ainda os objetos que podem ser peças de equipamentos ou componentes de infraestruturas elétricas, ar comprimido, água ou ventilação.

Por sua vez, os AT ocorridos em “Movimento” podem ser explicados por quedas, ao mesmo nível ou em altura, ou por atropelamentos por equipamentos móveis [80]. De salientar que a importância desta atividade como causadora de AT, referida pela International Tunnelling Association [254], é também realçada na experiência transalpina, em que grande parte dos AT ocorreram durante circulação e transporte [131]. Em CONST, a segunda causa é “Transporte Manual”, que tem uma percentagem reduzida de AT em TUNLG, facto que se poderá explicar pelo quase inexistente transporte manual de peças ou materiais (habitualmente transportados,

por ex., por multicarregadoras ou outros equipamentos) de um local para o outro [80] (situação típica em edifícios em que se tem de transportar materiais entre pisos ou divisões diferentes).

5.5.1.7. Desvio

Apresentam-se, na Tabela 17, os resultados obtidos quanto à variável “Desvio”.

Tab.17-Percentagem de AT por desvio

FONTE / OPÇÕES	Eletrização / eletrocussão	Detonação extemporânea	Incêndio	Transbordo, derrubamento, fuga, escoamento, vaporização, emissão	Rutura, rebentamento, resvalamento, queda, desmoronamento, colapso de estruturas	Perda, total ou parcial, de controlo de máquina ou equipamento	Escorregamento ou hesitação com queda em altura	Escorregamento ou hesitação com queda ao mesmo nível	Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (lesão externa) – corte	Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (lesão interna)	Presença de substâncias biológicas	Surpresa, susto, violência, presença, stresse	In itinere / outro / Sem inf.
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL													
GEP	0,6		10,9	6,0	20,8	20,7	33,5	0,0	0,2	7,4			
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS													
GEP	0,0	0,0	0,0	7,1	9,5	7,1	33,3	35,7	0,0	0,0	9,5		
EMP	3,0	0,0	0,0	7,6	13,6	6,1	22,7	31,8	0,0	0,0	15,2		

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (lesão interna)”/“Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (lesão externa)” (o tipo de dados disponível implicou que estas duas respostas a esta variável fossem agrupadas numa só) (33,5%), “Perda, total ou parcial, de controlo de máquina ou equipamento” (20,8%), “Escorregamento ou hesitação com queda em altura”, “Escorregamento ou hesitação com queda ao mesmo nível” (20,7%).

- “TUNLG”

GEP - “Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (lesão interna)” / “Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (lesão externa)” (35,7%) e “Escorregamento ou hesitação com queda” (33,3%), assumindo os dois conjuntamente uma percentagem bastante relevante da totalidade (69,0%).

EMP - “Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (lesão interna)” / “Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (lesão externa)” (31,8%), “Escorregamento ou hesitação com queda” (22,7%).

Os valores obtidos via GEP e via EMP são idênticos.

Relativamente ao desvio principal, verifica-se que “Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (lesão interna)” / “Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (lesão externa)” é o mais prevalente em CONST e TUNLG. O valor de “Movimento do corpo sujeito a constrangimento físico (lesão interna)” pode ser explicado pelo manuseamento/contacto com equipamentos, ferramentas ou objetos, estando o corpo sujeito a força física durante esse manuseamento/contacto [80]. O valor de “Movimento do corpo não sujeito a constrangimento físico (lesão externa)” pode ser explicado pelo contacto com objetos, equipamentos, ferramentas, solo, etc., que possa provocar lesões externas, tais como cortes, lacerações, enucleação, hematomas, queimaduras, etc..

O “Escorregamento ou hesitação com queda”, no caso de ocorrer em altura, pode ser explicado pela ocorrência de quedas durante utilização de plataformas de trabalho temporárias para revestimentos definitivos (impermeabilização, armaduras e betonagem), no caso do MEC, e durante a montagem e desmontagem de tuneladora, ou mesmo a circulação nesta, no caso do MET [80].

No caso de o “Escorregamento ou hesitação com queda” ocorrer ao mesmo nível, que é uma causa comum de AT [2], pode ocorrer devido a irregularidade dos pavimentos térreos, no MEC, e durante a circulação na tuneladora, no caso do MET. A movimentação manual de cargas que podem obstruir a visibilidade agrava esta situação [2].

5.5.1.8. Agente material do desvio

Apresentam-se, na Tabela 18, os resultados obtidos quanto à variável “Agente material do desvio”.

Tab.18-Percentagem de AT por agente material

FORTE / OPÇÕES	Dispositivos de distribuição de matéria, de alimentação, canalizações	Motores, dispositivos de transmissão e de armazenamento de energia	Ferramentas mecânicas ou manuais	Equipamentos portáteis ou móveis	Equipamentos fixos	Veículos terrestres / sobre carris	Objetos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras	Gases derivados de detonação de explosivos ou de incêndio	Gases naturais	Outras substâncias químicas	Radiações ionizantes e não ionizantes	Substâncias biológicas	Dispositivos e equipamentos de segurança	Diferenças de temperatura ou pressão	Blocos rochosos de emboquilhamento, face escavação, hasteais ou abóbadas em galerias	Torrões de betão projetado	Escadas, andaimes, plataformas de trabalho	Resíduos diversos	Fenómenos físicos e elementos naturais	Outros / sem informação
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL																				
GEP	0,7	0,0	7,3	0,3	1,6	0,7	38,0			1,3			0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,3
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS																				
GEP	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	14,3			7,1			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,0
EMP	3,0	0,0	9,1	12,1	1,5	1,5	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	25,8	0,0	6,1	3,0

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Objetos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras, partículas incandescentes, betão” (38,0%).

- “TUNLG”

GEP - “Objetos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras, partículas incandescentes, betão” (14,3%), embora exista uma percentagem bastante elevada de casos sem informação.

EMP - “Objetos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras, partículas incandescentes, betão” (31,8%).

Nesta variável, existe uma coincidência de respostas entre “CONST” e “TUNLG”. Os “Objetos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras, partículas incandescentes, betão” englobam uma variedade grande de elementos, muitos deles com acentuada presença em OS, como blocos rochosos [2], estilhaços de detonação de pegas de fogo, betão projetado, etc.. No entanto, dado que é uma miscelânea de elementos, torna-se difícil a análise individual [80].

Não se pode deixar de salientar que estes resultados contrariam a ideia de que “Equipamentos portáteis ou móveis” é uma das maiores causas de AT [255], designadamente por veículos em marcha atrás ou em inversão de marcha [108], como camiões de transporte de escombros ou pás-carregadoras [177].

5.5.1.9. Contacto – modalidade da lesão

Apresentam-se, na Tabela 19, os resultados obtidos quanto à variável “Contacto-modalidade de lesão”.

Tab.19-Percentagem de AT por tipo de contacto

FORTE / OPÇÕES	Contacto com corrente elétrica, temperatura, substância perigosa	Afogamento, soterramento, envolvimento	Esmagamento em movimento vertical ou horizontal sobre / contra um objeto imóvel	Pancada por objeto em movimento, colisão	Contacto com agente material cortante, afiado, áspero	Entalamento, esmagamento	Constrangimento físico do corpo, constrangimento psíquico	Mordedura, pontapé	Outro Contacto	Sem inf.
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL										
GEP	4,8	4,8	30,9	21,4	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	2,4
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS										
GEP	6,0	3,6	34,5	8,3	7,1	7,1	27,4	0,0	0,0	8,3
EMP	4,5	0,0	36,4	22,7	9,1	16,7	3,0	0,0	1,5	6,1

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Esmagamento em movimento vertical ou horizontal sobre / contra um objeto imóvel” (30,9%), “Pancada por objeto em movimento, colisão com” (21,4%).

- “TUNLG”

GEP - “Esmagamento em movimento vertical ou horizontal sobre / contra um objeto imóvel” (34,5%) e “Constrangimento físico do corpo, constrangimento psíquico” (27,4%).

EMP - “Esmagamento em movimento vertical ou horizontal sobre / contra um objeto imóvel” (36,4%) e “Pancada por objeto em movimento, colisão” (22,7%).

Dos dados obtidos através de GEP e EMP, verifica-se que o principal modo de contacto é comum aos dois, sendo que o segundo maior modo de contacto difere. Assim, analisar-se-ão os três principais modos de contacto. O “Esmagamento em movimento vertical ou horizontal sobre / contra um objeto imóvel” apresenta-se como a maior causa de contacto-modalidade da lesão, quer em CONST, quer em TUNLG. O “Esmagamento em movimento vertical ou horizontal sobre / contra um objeto imóvel” pode relacionar-se com o elevado número de quedas, que configuram um esmagamento contra algo imóvel, como o solo [80]. A percentagem de “Constrangimento físico do corpo, constrangimento psíquico” pode ser explicada por contacto com equipamentos móveis ou objetos que restringem os movimentos do corpo. A “Pancada por objeto em movimento, colisão” em OS pode ser relacionada com a queda de objetos ou materiais, designadamente blocos de face de escavação, hasteais ou abóbada [2], equipamentos ou materiais utilizados para revestimentos finais (equipamentos móveis, telas de impermeabilização, varões para armaduras, painéis de cofragem, etc.), designadamente durante movimentação de cargas.

5.5.1.10. Tipo de lesão

Apresentam-se, na Tabela 20, os resultados obtidos quanto à variável “Tipo de lesão”.

Tab.20-Percentagem de AT por tipo de lesão

FORTE / OPÇÕES	Feridas e lesões superficiais	Fraturas	Deslocações, entorses e distensões	Amputações	Concussões e lesões internas	Envenenamentos, intoxicações, infeções	Afogamento, asfixia	Efeitos de ruído, vibrações ou pressão	Efeitos de temperatura extrema, luz, radiações	Choque	Lesões múltiplas	Corpos estranhos nos olhos	Outro	Não especificado
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL														
GEP	50,6	5,9	22,5	0,2	9,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0	6,4	4,2
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS														
GEP	59,5	13,1	19,0	0,0	4,8	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0
EMP	40,9	18,2	12,1	3,0	7,6	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Feridas e lesões superficiais” (50,6%), “Deslocações, entorses e distensões” (22,5%).

- “TUNLG”

GEP - “Feridas e lesões superficiais” (59,5%) e “Deslocações, distensões e entorses” (19,0%).

EMP - “Feridas e lesões superficiais” (40,9%) e “Fraturas” (18,2%).

A principal causa é, inequivocamente, “Feridas e lesões superficiais”, o que pode ser justificado com o elevado manuseamento de objetos e materiais a que este tipo de obra obriga [80].

Quanto à segunda maior causa, os valores obtidos via GEP e via EMP diferem, pelo que se analisarão os dois. As “Deslocações, distensões e entorses” podem ser relacionadas com as quedas ao mesmo nível, identificadas como um dos maiores desvios [80]. As “Fraturas” podem ser justificadas como contacto com peças de relevante dimensão, tais como dispositivos de estabilização, peças de moldes de cofragem (no caso do MEC) ou aduelas pré-fabricadas (no caso do MET).

5.5.1.11. Parte do corpo atingida

Apresentam-se, na Tabela 21, os resultados obtidos quanto à variável “Parte do corpo atingida”.

Tab.21-Percentagem de AT por parte do corpo atingida

FORTE / OPÇÕES	Cabeça	Pescoço, espinha e vértebras	Costas, espinha e vértebras	Tórax e órgãos torácicos	Membros superiores	Membros inferiores	Múltiplas	Outra/ não especificado
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL								
GEP	17,3	0,7	16,3	4,6	31,7	23,9	1,1	4,4
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS								
GEP	6,0	0,0	10,7	15,5	31,0	33,3	1,2	1,2
EMP	10,6	4,5	4,5	7,6	45,5	25,8	0,0	1,5

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Membros superiores” (31,7%) e “Membros inferiores” (23,9%).

- “TUNLG”

GEP - “Membros inferiores” (33,3%) e “Membros superiores” (31,0%).

EMP - “Membros superiores” (45,5%) e “Membros inferiores” (25,8%).

Embora os dados obtidos de GEP e EMP se apresentem como diferentes, restringem-se a duas zonas do corpo, salientando-se a elevada percentagem que as duas principais partes do corpo atingidas representam em TUNLG [80].

O facto de uma das partes do corpo mais atingida ser “Membros inferiores”, mais propensos a lesão por escorregamentos e quedas, pode ser relacionado com contactos com objetos (por ex., blocos ou outros materiais em queda de nível superior), com entorses derivados dos pavimentos irregulares (designadamente no MEC [80]) ou, no caso do MET, por contacto com aduelas durante a sua receção no local de aplicação. No caso dos “Membros superiores”, pode justificar-se com o elevado trabalho com ferramentas de mão (geralmente com ferramentas pesadas, tais como barras de saneamento e alavancas [177]) ou com o contacto com material rolante ou com as aduelas pré-fabricadas durante a sua aplicação [80]. Realce-se os variadíssimos movimentos que os trabalhadores têm de realizar, por ex., de pernas dobradas ou braços em esforço. Salienta-se ainda a

elevada manipulação de cargas, quer no MEC (designadamente dispositivos de estabilização), quer no MET (por ex., de peças de tuneladoras durante montagem e desmontagem ou aduelas pré-fabricadas), que promove, por quedas ou contacto direto, o contacto com mãos, braços, pernas e pés.

5.5.1.12. Número de dias perdidos

Apresentam-se, na Tabela 22, os resultados obtidos quanto à variável “Número de dias perdidos”.

Tab.22-Percentagem de AT por número de dias de baixa

FONTE / OPÇÕES	3 ou menos dias	Entre 4 e 6 dias	Entre 7 e 13 dias	Entre 14 e 20 dias	Entre 21 dias e um mês	Entre um mês e três meses	Entre três meses e seis meses	Superior a 180 ou incapacidade permanente	Mortal	Sem inf.	Média
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL											
GEP	29,2	4,7	17,5	12,8	9,3	16,9	6,1	3,5	--	--	26,1
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS											
GEP	n.d.										
EMP	4,5	1,5	6,1	12,1	9,1	42,4	16,7	3,0	1,5	1,5	60,8

Legenda:

GEP - Dados fornecidos pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento

EMP - Dados obtidos através de inquérito a empresas

- “CONST” - “Entre 7 e 13 dias” (17,5%) e “Entre 30 e 90 dias” (16,9%), sendo a média de 26,1 dias.

- “TUNLG”

GEP - n.d.

EMP - “Entre 30 a 90” (42,4%) e “Entre 90 e 180 dias” (16,7%). Com média de 60,8 dias.

Verifica-se que “TUNLG” apresenta um número médio de dias de baixa bastante superior a construção.

Este facto poderá ser justificado por uma aparente maior gravidade das “Feridas e lesões superficiais” (hematomas, lacerações ou feridas abertas), que provocam um elevado número de dias de baixa [80]. Poderá também existir mais algum conservadorismo, pelos médicos de trabalho, em dar a alta ao trabalhador.

5.5.2. Tipificação de doença profissional mais frequente

5.5.2.1. Função

Apresentam-se, na Tabela 23, os resultados obtidos quanto à variável “Função”.

Tab.23-Percentagem de DP por função

FUNÇÃO	Engenheiro, encarregado, técnico de obra	Mineiro / pedreiro / marteleiro	Condutor manobrador / motorista	Operador de substâncias explosivas	Serralheiro / Soldador	Eletricista / mecânico / topógrafo	Carpinteiro de cofragem / trolha / pedreiro / Impermeabilizador	Montador de armaduras	Montador de andaimes	Servente
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL										
ISS										Dados não disponíveis
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS										
ISS	7,2	47,6	--	--	--	--	11,9	21,4*	--	--

Legenda:

ISS - Dados fornecidos pelo Instituto de Segurança Social

* - encontram-se incluídos montadores de refratários e pré-esforçados, carpinteiros de limpos, canalizadores e pintores

- “CONST” - n.d.

- “TUNLG” - “Mineiro/pedreiro/marteleiro” (47,6%), seguido de “Impermeabilizador” (21,4%) e “Carpinteiro de cofragem” (11,9%).

Relativamente a “Mineiro/pedreiro/marteleiro”, saliente-se a elevada exposição a poeiras nas frentes de escavação [2], que muitas vezes poderão ser de rocha com elevado teor de sílica [80]. Saliente-se também a exposição a gases de detonação de explosivos, poeiras do betão projetado, névoas de óleos (para, por exemplo, proteção de superfícies de robôs de projeção de betão) e gases de escape presentes no espaço confinado da frente de escavação [80]. No que se refere a “Impermeabilizador”, com uma percentagem bastante abaixo da primeira, de mencionar a provável exposição a maior número de situações de esforço físico (designadamente durante carga, movimentação e aplicação de materiais, com conseqüente impacto musculoesquelético) e contacto com produtos químicos, designadamente na forma de vapores, por exemplo, de produtos de aquecimento de revestimentos para impermeabilização [80]. No caso de “Carpinteiros de cofragem”, salienta-se a exposição a cimento e óleos de descofragem [80].

5.5.2.2. Idade

Apresentam-se, na Tabela 24, os resultados obtidos quanto à variável “Idade”.

Tab.24-Percentagem de DP por faixa etária

Fonte	Menos de 40 anos	Entre 40 e 49 anos	Entre 50 e 59 anos	Mais de 60 anos
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL				
ISS	12,8	27,3	43,9	16,9
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS				
ISS	9,5	19,0	42,9	28,6

Legenda:

- “CONST” - “Entre 50 e 59 anos” (43,9%).

- “TUNLG” - “Entre 50 e 59 anos” (42,9%).

Verifica-se que, existindo uma coincidência de faixas etárias nas duas atividades, existe um crescendo de incidência de DP consoante a idade, evolução normal, quer no setor mineiro [256], quer neste tipo de obra. Saliente-se que, neste tipo de obra, geralmente, os trabalhadores têm já vários anos de experiência, tendo já estado sujeitos a diversas e prolongadas exposições a agentes físicos e químicos. Este facto poderá ser a justificação, designadamente, do aumento de DP em trabalhadores com condições mais crónicas e que carecem de tratamento prolongado e com recuperação mais demorada [257].

5.5.2.3. Diagnóstico

Apresentam-se, na Tabela 25, os resultados obtidos quanto à variável “Diagnóstico”.

Tab.25-Percentagem de DP por diagnóstico

FORTE / OPÇÕES	Afeções musculoesqueléticas	Perturbações de audição	Perturbações neurológicas	Problemas cardiovasculares	Efeitos irritantes na pele ou membranas mucosas	Cancro	Doenças infetoc contagiosas	Doenças alérgicas	Perturbações respiratórias pulmonares
SETOR DA CONSTRUÇÃO - PANORAMA GERAL									
ISS	28,0	34,1	2,3*	--	9,7	--	--	--	25,9
SETOR DA CONSTRUÇÃO - OBRAS SUBTERRÂNEAS									
ISS	14,3	26,2	--	--	14,3	--	--	--	45,2

Legenda:

ISS - Dados fornecidos pelo Instituto de Segurança Social

* - inclui todas as outras manifestações clínicas

- “CONST” - “Perturbações de audição” (34,1%), “Problemas musculoesqueléticos” (28,0%) e “Perturbações respiratórias/pulmonares” (25,9%).

- “TUNLG” - “Perturbações respiratórias/pulmonares” (45,2%) e “Perturbações de audição” (26,2%).

Verifica-se que “TUNLG” não possui as mesmas características de “CONST”. Enquanto em CONST as “Perturbações de audição” e “Afeções musculoesqueléticas” aparecem nos lugares cimeiros, no caso de “TUNLG” o primeiro lugar é ocupado por “Perturbações respiratórias/pulmonares”, seguidas por “Perturbações de audição”, as duas com um relevante valor total de 71,4%. Isto pode, numa primeira abordagem, ser atribuído ao facto de os trabalhadores estarem, com horários muitas vezes prolongados, num espaço fechado, com ventilação limitada e onde a concentração de contaminantes no ar, ainda que em concentrações aquém do admissível, é um fator sempre presente.

Dentro das perturbações respiratórias/pulmonares, importa diferenciar as doenças das vias respiratórias das doenças do pulmão. No que se refere à inflamação das vias respiratórias, tem-se vindo a verificar que a exposição a partículas e gases de produtos de combustão do diesel (de equipamentos móveis, no MEC, e locomotivas, no MET) [9] e de detonação de explosivos (no caso do MEC), designadamente os de explosivos à base de ANFO [14], é frequentemente associada ao aparecimento ou exacerbação de asma e bronquite crónica [125]. Por sua vez, o pó do cimento, utilizado no betão projetado, pode contribuir para o agravamento da asma, o que se traduz na redução da função pulmonar dos operadores de robô de projeção de betão [120]. Os óleos utilizados para proteção de equipamentos contra salpicos e deposições de betão, ou para limpeza de moldes de cofragem, também podem provocar, pela sua constituição, problemas das vias respiratórias [123], designadamente asma. Relativamente a pneumoconioses, originadas pela deposição de partículas de poeira no pulmão, devem distinguir-se as provocadas pela deposição de poeiras de sílica provenientes de maciço rochoso, situação mais típica neste tipo de trabalho [77], das provocadas pela deposição de partículas de amianto, situação menos típica. Nunca é demais salientar que a silicose é a mais antiga e grave doença profissional conhecida, como já foi anteriormente mencionado.

As funções mais afetadas pelas poeiras e gases são os perfuradores e os trabalhadores de tuneladora [120] e os operadores de robôs de projeção [258], sendo de realçar que os riscos de exposição aos agentes acima referidos afetam os que trabalham nas proximidades, mas também aqueles pelos quais os gases, vapores ou partículas passam (designadamente pelas poeiras que se soltam durante o transporte de escombros [156]), em zonas afastadas da frente de escavação. Estudos realizados na Noruega mostram ainda que os operadores de robôs têm um risco acrescido de desenvolver asma, maior do que o dos trabalhadores em face de escavação, sendo a queda anual de função pulmonar o dobro do esperado [124].

Relativamente à surdez profissional, no espaço subterrâneo este problema agrava-se pela reverberação dos sons produzidos, designadamente por equipamentos de furação, ventiladores e compressores [2], que afetam os trabalhadores nas proximidades, mas também os trabalhadores que poderão estar um pouco afastados, por ex., do molde de betonagem em vibração.

5.6. Resposta à questão de investigação

Questão de investigação nº 3 - “Qual o tipo de AT e DP típico (ou seja, o de ocorrência mais frequente ou de surgimento mais provável) que corresponde ao AT e DP mais frequentes neste tipo de trabalho em obras subterrâneas?”

Resposta à questão de investigação nº 3

- As características do acidente de trabalho mais típico encontram-se indicadas na Tabela 26.

Tab.26-Tipificação de AT

Função	Condutores/manobradores
Idade média	40,5 anos
Horário	Entre as 17h e as 8h
Local	Zona de cofragem/betonagem
Atividade	Trabalho com ferramentas manuais
Desvio	Problemas associados a movimento do corpo
Agente material	Componentes de máquina, resíduos, betão
Modo de contacto	Contacto direto
Tipo de lesão	Feridas ou lesões superficiais
Parte do corpo atingida	Braços, mãos, pernas, pés
Número de dias perdidos	60,8 dias perdidos

- As características da doença profissional mais típica encontram-se indicadas na Tabela 27.

Tab.27-Tipificação de DP

Função	Trabalhador de frente de escavação
Idade	50 a 59 anos
Diagnóstico	Problemas respiratórios

6. PRINCÍPIOS COMUNS AOS DOIS MÉTODOS

6.1. Introdução

Este capítulo pretende dar cumprimento ao objectivo nº 5 previsto no capítulo de introdução “**Caracterizar os riscos que são comuns apenas a um dos métodos**” e dar resposta à questão de investigação nº4 “**Quais os requisitos que devem ser garantidos, qualquer que seja o método escolhido?**”.

6.2. O Dono de Obra (DO) como *pivot* da prevenção

A postura do DO tem especial importância, dado que será ele o fio condutor, ponto de referência e de partida para os objetivos que se pretendem para a empreitada [57], estabelecendo o ambiente em que o empreendimento vai ser desenvolvido pelos seus contratados nas diversas fases, e podendo interferir diretamente nos recursos que estes afetam à área da prevenção. Assim, importa que o DO perceba a importância e influência que tem nas decisões relacionadas com matérias preventivas. Para tal poder ocorrer, é essencial que o DO disponha, na pessoa dos elementos que o representam, da respetiva formação cívica e educacional necessária para o efeito. Esta ideia é válida também para todos os restantes intervenientes.

O DO servirá ainda de baliza para o nível de tolerância pretendido para os trabalhos a desenvolver. Este nível de tolerância que o DO admite, extremamente importante para a validação dos trabalhos dos técnicos de segurança, pode associar-se a maior ou menor desleixo por parte dos intervenientes e consequente probabilidade de ocorrência de acidentes de trabalho e doenças profissionais [16]. A título de exemplo, indica-se a postura do *Crossrail* que lançou um guia com requisitos para os seus parceiros construtores, consultores e fornecedores, de modo a sensibilizar todos os intervenientes em obra para os objetivos que pretendia alcançar [259]. O *Crossrail* serviu também de exemplo, ao estabelecer critérios bem definidos – projetar em segurança, comunicar eficientemente, ter saúde no local de trabalho, segurança no local de trabalho, melhoria de performance [259] – que serviram de base às ações desenvolvidas durante o projeto e obra.

No entanto, deve atender-se a que o modelo de empreendimento a adotar pode ser o primeiro fator a afetar este grau de tolerância. O lançamento de uma obra em regime de parceria público-privada traz as suas próprias consequências, positivas e negativas, para a evolução da obra. Do ponto de vista técnico, por um lado, esta opção aproxima a abordagem de projeto à abordagem de obra, uma vez que os intervenientes reportam à mesma estrutura, reduzindo assim os riscos para o dono de obra [69]. Por outro lado, tem o inconveniente de o projeto apenas começar a ser elaborado numa fase mais tardia. Este modelo pode ser bem-sucedido em termos de prevenção, se o correto planeamento for acompanhado por uma fiscalização externa aos interesses económicos da EE e do DO (por ex., composto pelos acionistas da EE e entidades bancárias financiadoras) [16].

De realçar que, qualquer que seja o modelo de empreendimento, é extremamente importante que o DO dê algum tempo, após a intenção de adjudicação, para a EE iniciar a obra.

Cabe também ao DO, enquanto promotor do empreendimento e *pivot* da prevenção, assegurar a transmissão de legado do seu empreendimento, designadamente em termos das lições retiradas dos erros cometidos. A aprendizagem através dos erros, por exemplo em termos formativos em atividades similares [162], é fundamental para que se não volte a errar e para que se atue preventivamente sobre os fatores ocupacionais, melhorando as decisões a tomar [260]. No entanto, nem sempre a indústria aprende com os erros do passado. É nesta perspetiva que a realização do presente trabalho de investigação, que inclui a recolha do legado de algumas obras, poderá trazer proveitos futuros na diminuição dos acidentes de trabalho, podendo vir a ser um eficaz instrumento de trabalho para os intervenientes [242].

6.3. Prevenção em fase de projeto

6.3.1. Histórico

Faça-se uma pequena introdução histórica quanto à evolução do conceito de integração da prevenção em fase de projeto. A integração da prevenção em fase de projeto foi iniciada em 1955, nos EUA, com a publicação do Manual “*Accident Prevention Manual for Industrial Operations*”, onde aparece, pela primeira vez, o conceito de prevenção através de projeto. No entanto, só várias décadas depois, nos anos 90, os investigadores J. Gambatese e J. Hinze desenvolveriam o conceito. Um pouco antes, em 1985, a OIT, através do Convénio 161 sobre os Serviços de Segurança e Saúde no trabalho, recomendava já que os projetistas deveriam assessorar o projeto, facto que deveria estar atualmente consumado com a atuação do Coordenador de Segurança e saúde em fase de Projeto. Também em 1985, a OIT publica “*Safety and health in building and civil engineering work*”, onde considera que os projetistas devem integrar as questões de segurança e saúde na fase de projeto, realçando ainda que não é possível garantir a segurança e saúde dos trabalhadores contando apenas com a legislação, o que faz com que a participação dos projectistas seja necessária [261]. Em 1992, J. Hinze e F. Wiegand, no seu trabalho “*Role of designers in construction worker safety*” [261], consideram que não é possível garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores considerando unicamente a legislação e que para tal é necessária a participação dos projetistas. A Comissão Europeia intervém, embora tardiamente, e chama a atenção para a necessidade de incrementar a integração da prevenção nos processos de projeto e planeamento das obras. Assim, denuncia que existe uma “falta de coordenação e controlo”, limitando-se, em geral, a coordenação à fase de execução da obra [262]. Dois anos mais tarde, a própria Comissão Europeia intervém desenvolvendo uma série de recomendações não vinculativas para a aplicação da Diretiva 92/57 / CEE (13), incluindo, entre estas, uma específica para promover a integração da prevenção em fase de projeto. Estas recomendações identificam os projetos como agentes críticos para a melhoria preventiva das obras, graças à sua capacidade para identificar e eliminar as condições de risco das etapas mais iniciais do projeto [262].

6.3.2. As vantagens e importância

O ato de integrar a prevenção em fase de projeto pode trazer várias mais-valias de diversos foros, tanto técnico, como logístico ou financeiro. Salientam-se algumas delas:

- Permite dar tempo para identificar potenciais desvios e tratá-los, antes de ser tarde demais e de o risco se tornar não tolerável, possibilitando alterações de base (por ex., secção transversal, de alinhamento ou de método de construção) [69];
- A segurança de qualquer operação é determinada muito antes de trabalhadores e equipamentos se juntarem no estaleiro [263];
- Os riscos que se materializam em obra, a gerir pela EE, são aqueles que tinha sido impossível eliminar durante a fase de projeto e que o projetista comunica a EE.

Financeiramente falando, algumas entidades têm vindo a tentar quantificar a percentagem de acidentes de trabalho com raízes na fase de projeto e que por aí poderiam ter sido evitados. Bianca afirma que cerca de 60% dos acidentes poderiam ter sido evitados ou atenuados na fase antes do início da obra [264]. O *Crossrail* defende que 47% dos acidentes nos anos recentes poderiam ter sido evitados em fase de projeto [153]. Konstantis refere que os erros de projeto constituem cerca de 40% das causas, sendo metade destas na face de escavação [224].

A não existência ou desadequação da integração da segurança em fase de projeto (muitas vezes pelo simples e grave facto de ser realizada quando o projeto já está terminado), prática que se revela bastante habitual em Portugal, salvo honrosas exceções, por sua vez, dá azo a que exista um volume significativo de riscos que passam para a fase de obra, altura em que é mais difícil, senão impossível, baixá-los [77], colocando assim os intervenientes em obra numa posição bastante delicada de tentar resolver questões que são, muitas vezes, impossíveis de resolver em obra.

Verifica-se assim a relevância do ato de tentar minorar, em fase de projeto, os perigos que possam dar azo a riscos para a fase de obra.

O modo ideal de abordar a segurança de forma proativa é procurar, desde o início do desenvolvimento do projeto [263], identificar e eliminar ou, se tal não for possível, minimizar os riscos que a construção implica. O nível de segurança é, então, definido em fase de projeto na parte concetual, por um conjunto de escolhas que têm, entre outros, a prevenção como critério, integrando os onze princípios gerais de prevenção [77], e consumando-se numa seleção de materiais de construção e definição dos padrões requeridos para a fase de obra. É, então, de extrema importância que o projetista ofereça opções de *design* seguras, em termos de técnicas, materiais e equipamentos utilizados, além do mero custo ou desempenho [77], assumindo uma atuação preventiva centrada na antecipação e concentrando-se nas etapas prévias ao começo das obras, quando a modificação de deficiências não custa tanto, em termos financeiros e logísticos [262].

6.3.3. Enquadramento

O projetista pode ter vários enquadramentos funcionais e hierárquicos. Um deles é no cenário da conceção/construção, em que ele reporta diretamente à EE sem passar primeiro pelo DO. Talvez seja por isso que se afirma que os projetistas que demonstram uma maior preocupação pela segurança dos trabalhadores estão, normalmente, associados a empresas de conceção/construção e têm experiência prática em estaleiro, que lhes permite identificar os riscos para os trabalhadores [265]. O facto de pertencer à estrutura que constrói a obra traz diversas vantagens:

- O fluxo de informação entre projetista e EE é mais fluido e mais rápido;
- A interpretação de situações de obra é mais expedita;
- A comunicação entre projetista e técnicos de obra é mais direta e fluida, não estando sujeita a restrições;
- Apenas com esta ligação direta será possível assegurar uma adequada estabilidade do túnel durante a construção [75].

6.3.4. Fases de projeto

Dada a sua importância para a prevenção de AT/DP, dois temas se levantam - as fases intermédias e a revisão de projeto:

- Existência de uma correta sequência de trabalhos, fator que aparece realçado em muita da literatura analisada. A consideração de todas as fases intermédias de construção (para além dos trabalhos permanentes), designadamente o revestimento primário – elemento essencial para a estabilidade do maciço – e alterações de secção, e o modo como podem ser construídas em segurança é, assim, também fator relevante, sob a designação de “construtibilidade” [108], e é geralmente insuficientemente considerada [266].
- Revisão de projeto. É uma parte crítica do projeto inicial e revela-se como uma primeira medida de minimização de riscos, sendo útil para identificar os riscos principais do empreendimento, permitindo uma potencial otimização das soluções previstas ou correção de erros que poderiam vir a ter consequências desastrosas em termos de prevenção. Assim, o DO deve promover uma revisão de projeto após cada fase de projeto, revisão a ser feita por técnicos independentes, com experiência e desde fases precoces [266]. Curiosamente, a *British Standard 6164* [108] refere-se a este assunto deste modo: “quando os trabalhos tenham um efeito adverso na segurança e saúde devem ser revistos por uma entidade independente” (tradução do autor).

6.3.5. Problemas encontrados

No entanto, e apesar de todos estes anos de estudos e acidentes de trabalho ocorridos, a integração da prevenção em fase de projeto está longe de ser um processo pacífico, por diversos motivos, de razão cultural e económica. Os projetistas, no passado, demonstraram pouca consciência da sua influência sobre a temática de prevenção, bem como pouca inclinação para integrar no projeto medidas para mitigar os riscos [75],

remetendo este tipo de abordagens para a fase de obra. Adicionalmente, são tradicionalmente muito relutantes em alterar o projeto devido a questões de segurança e saúde. Muitos projetistas falham, assim, na demonstração de que os seus projetos podem assegurar a futura segurança dos trabalhadores [267], continuando a rejeitar este tipo de intervenção como uma prática padrão [263].

Regra geral, os projetistas especificam os materiais a utilizar apenas com base no custo e desempenho [265]. Diversos autores opinam sobre os motivos pelos quais a prevenção não é suficientemente enquadrada desde a fase de projeto, falando sobre lacunas como falta de experiência; maiores custos associados a elaboração de projeto; falta de formação dos projetistas; e falta de conhecimento dos projetistas sobre técnicas e matérias. Em resumo, pode-se concluir que o projetista, com a devida formação, deve assumir a posição de agente facilitador do processo construtivo e adotar soluções de projeto seguras e que minimizem riscos para a fase de obra, em termos de técnicas, materiais e equipamentos, não valorizando apenas o seu custo e desempenho.

6.4. Postura da Entidade Executante

6.4.1. Liderança

A postura da EE revela-se como fulcral, dado ser esta, como último elo entre o projeto e obra, que tem na sua mão a decisão sobre os processos construtivos, materiais e equipamentos a utilizar.

Começando pelas hierarquias cimeiras, importa realçar que uma liderança coesa e efetiva tem demonstrado, em obras subterrâneas grandes e complexas, ser um fator fundamental para a prevenção [72]. Quando se fala de liderança, não se deve falar apenas sobre a liderança dos quadros superiores da empresa, mas sim a todos os níveis que impliquem chefiar alguém [72], tal como um chefe de equipa que supervisiona a execução de um avanço da frente de escavação. Neste caso, uma supervisão de primeira linha é de extrema importância para as questões de segurança e saúde [108], dado poder influenciar, positiva ou negativamente, diretamente aqueles que vão realizar as tarefas, pela sua personalidade.

Impõem-se, assim, líderes com conhecimentos, que tratem os trabalhadores como algo mais que uma “peça descartável”, criem equipas que sejam justas, capazes e visionárias, e que trabalhem com grandes princípios éticos, que motivem equipas e dêem satisfação no trabalho, levando a projetos com maiores níveis de segurança [72].

A motivação dos trabalhadores poderá, assim, ser reforçada, com os quadros superiores a exercerem uma liderança clara e coerente. Realce-se o discurso de abertura do Congresso do IOSH de 2014, em que o seu presidente, Tim Briggs, afirma que “*líderes inspiradores e ambiciosos ouvem e perguntam, respeitam e tentam compreender*”. Ora, raramente esta visão é atingida em obra, pelo facto de existir o dilema segurança/produção. Ou seja, as pressões produtivas são muitas vezes priorizadas, levando a complacência e facilitismo, que se traduzem na tolerância a comportamentos de risco, negligenciando a utilização de equipamentos e dispositivos de proteção adequados e a adoção de comportamentos seguros.

O facto de existir uma liderança que encare a segurança como assunto primordial e de importância inequívoca revela-se como um primeiro passo para a segurança ser encarada como prioritária por todos. Este assunto deve ser introduzido pela administração da empresa e discutido até ao mais alto nível de gestão da empresa, assumindo-o como um investimento que futuramente se traduz num benefício, minimizando o tal dilema segurança/produção (nomeadamente no que se refere à necessidade de realizar atividades em prazos curtos rígidos e, muitas vezes, com presença de trabalhadores no mesmo espaço a executar tarefas incompatíveis) que potencia a ocorrência de situações de desrespeito de regras de segurança [106].

Em termos de segurança e saúde, uma forte liderança pode ser consumada através de: criação de estrutura hierárquica e funcional que permita a tomada de decisões tendo em conta o risco existente.

Uma forte liderança passa por dar autonomia a responsáveis na área de prevenção, promover a adesão a iniciativas e campanhas de segurança, trabalhar com parceiros para revisão de normas e legislação, e dar acesso direto dos técnicos de segurança à gestão de topo da empresa, sem que tenham de passar por direção obra.

Como é óbvio, é tão importante desenvolver uma cultura de segurança interna da empresa, como implementar a mesma na cadeia de subcontratação. No entanto, o uso intensivo de subcontratados, acompanhado da pressão para cumprimento de metas de produção, restrições financeiras, e dificuldades decorrentes da natureza específica da indústria da construção, apresenta-se também como um dos fatores sistémicos que contribuem para elevar o nível de risco [93]. De facto, quanto mais empresas de menor dimensão estiverem envolvidas na obra, mais difícil se torna a integração das regras de prevenção e o cumprimento do previsto na legislação geral sobre prevenção. Este é um dos grandes problemas que existe atualmente no mercado.

Provavelmente por questões culturais e económicas [268], nem sempre a prevenção é encarada como algo proativo e importante (em termos estratégicos), sendo frequentemente vista como uma mera obrigação legal e formal, muitas vezes até apenas documental e via registo, de documentos legislativos e normativos. No caso da gestão de topo, nem sempre explora devidamente o seu potencial para melhorar as condições de segurança e saúde em estaleiro, algumas vezes por não perceber (talvez por idealizar a perspetiva de negócio a curto prazo) a ligação entre uma boa performance em matéria de prevenção e uma boa performance em termos empresariais, outras por simplesmente estar confiante de que não lhe será direcionada responsabilidade civil ou criminal em caso de ato inspetivo por parte de entidades oficiais ou no caso de ocorrência de ATM. É neste ponto, muito interligado com a cultura de segurança que se deveria criar desde a infância, que se deverá batalhar.

Quanto ao trabalhador, existe a dificuldade de não conseguir ser criado um forte elo de ligação (como era há décadas quando o trabalhador permanecia anos e anos como funcionário da empresa), devido ao estado de contratação transitório que faz com que, muitas vezes, o trabalhador tenha um contrato não a termo incerto mas sim a prazo, para aquela obra.

6.4.2. Postura perante os acidentes e quase-acidentes

Uma boa prática geralmente aceite é a de que todos os AT devem ser comunicados ao empregador [1]. No entanto, algumas razões levam a que tal não aconteça. Num estudo sobre as causas para a não-comunicação de acidentes à entidade empregadora, 27% dos trabalhadores admitiram não ter comunicado um acidente, pelo menos uma vez na vida [269]. A principal razão apontada para tal atitude é “a reduzida dimensão dos ferimentos” (72%), facto que poderá ser explicado pela frequente reduzida sensibilidade dos trabalhadores a lesões como pequenos cortes, lacerações ou hematomas. Referem ainda que “a aceitação da dor faz parte do trabalho” (opinião cada vez mais entranhada na construção [269]). Por outro lado, o fenómeno de aceitação do risco, associado a uma cultura de não segurança (muitas vezes também derivada de o trabalhador ter bastantes anos de experiência e durante esses anos não ter sofrido ou presenciado qualquer AT grave), é apontado como sendo normal e inerente ao trabalho da construção, o que conduz à realização do trabalho em condições de risco que aumentam a probabilidade de acidente [106]. Outros motivos referidos para não comunicação são: “os remédios são suficientes para minorar o problema”, “receio de não ser contratado se me queixar”.

Portanto, um dos grandes desafios atuais para as empresas é conseguir ultrapassar esta opção pessoal dos seus trabalhadores e ajudá-los a comunicar todos os acidentes, mesmo os ligeiros [1]. O sucesso nesta matéria pode passar por uma postura construtiva (e não punitiva) e por um encorajamento explícito aos trabalhadores para falarem sobre as suas preocupações [1], uma vez que os trabalhadores que têm um bom relacionamento com os seus superiores, e a quem são dados incentivos, são mais propensos a adotar comportamentos seguros (e a ferirem-se menos) do que aqueles que não têm este relacionamento positivo [270].

Os quase-acidentes, enquanto eventos precursores de AT, são por sua vez uma fonte de informação extremamente útil para o estudo de ocorrências [93]. Além disso, é necessário aproveitar a oportunidade que estas falhas nos dão para implementar a investigação de AT e, assim, descobrir as causas dos mesmos [85]. A comunicação e a análise de quase-acidentes são, assim, fulcrais para evitar novas situações e para a efetiva redução de acidentes. O objetivo é obter-se a resposta proativa que ocorre quando uma ação corretiva é implementada após a ocorrência de um quase-acidente [115].

6.5. Competência e formação

6.5.1. Competência

A competência de um indivíduo, considerada atualmente como um fator-chave para o sucesso do projeto [266], pode ser definida como a combinação entre formação, experiência e conhecimentos, e a sua aptidão para resolver um determinado assunto. A falta de competência, por sua vez, podendo levar a atos inseguros, pode tornar-se uma fonte de diversos problemas, incluindo a ocorrência de AT [224]. O HSE exemplificou que, num terço dos acidentes com *dumpers*, menos de metade dos empregadores tinha aferido a competência do

manobrador [271], o que leva a questionar se a aferição da competência do trabalhador é realizada na íntegra e de um modo adequado. Assim, um passo fundamental é garantir que todos os elementos da empresa, dos engenheiros à mão-de-obra [131], possuam competência, responsabilidade e formação suficientes para compreender a importância da integração constante da prevenção, a todo o momento e em qualquer atividade [108], e a integrem efetivamente no seu dia-a-dia e nas decisões tomadas.

Em Portugal, não há imposição legal relativamente às competências que um trabalhador da construção deve ter [265]. De qualquer forma, algumas profissões são certificadas pelo Sistema Nacional de Certificação Profissional, que permite assegurar que um profissional detém as competências necessárias ao exercício de uma profissão. Consoma-se na obtenção de um certificado de aptidão profissional (CAP), atribuído pelo Instituto do Emprego e Formação Profissional (IEFP), após um curso de formação profissional. Algumas das profissões que atualmente estão sujeitas a CAP são: técnicos/condutores de obra, técnicos de topografia, técnicos de medições e orçamentos e técnicos de desenho de construção civil; condutores/manobreadores de equipamentos de movimentação de terra e de equipamentos de elevação; carpinteiros de cofragens, pedreiros, armadores de ferro.

A competência, embora não se limite a ser um simples registo curricular ou um nome num registo, pode ser consumada através de qualificações académicas, cartões específicos, experiência de determinado número de anos na área ou projetos similares onde já tenha desenvolvido trabalhos. Importa analisar o fator “experiência”, da maior importância em obras subterrâneas [272], dado ser essencial para garantir uma rápida e correta reação às situações normais e também às situações imprevistas. No entanto, a experiência não permite avaliar antecipadamente a capacidade e habilidade para identificar riscos [273]. Se o trabalhador não possuir a experiência necessária, o processo formativo terá de ser mais longo, e poderá não acabar com o início da escavação [272]. Relativamente aos critérios para experiência, nem sempre os requisitos são explícitos [272]. Nesta matéria, o Dono de Obra pode tomar uma posição de rigor, ao exigir contratualmente, para todos os intervenientes, uma experiência mínima em obras subterrâneas, devido às enormes consequências que podem advir da colocação numa obra subterrânea de um manobrador sem experiência nesse ambiente.

Alguma da literatura refere a necessidade de os intervenientes possuírem um relevante grau de competência em determinado método (por ex., o MEC implica uma grande liberdade de ação e decisão para quem dirige a construção do túnel, por isso implica mais riscos devido a erro humano), ou em cargos específicos, tais como:

- Operadores de tuneladora [272]: No passado, a competência resumia-se a ter experiência em funções similares. Atualmente, com a modernização e a complexidade eletrónica e informática das novas tuneladoras, os requisitos alteraram-se, sendo agora mais exigentes, obrigando a conhecimentos de hidráulica, eletricidade, *software*, etc., de modo a evitar que o operador, por falta de competência, possa cometer erros desastrosos.
- Trabalhadores sujeitos a ambiente pressurizado: Muitos dos operadores vêm da indústria de mergulho, mas carecem de familiarização com o ambiente de tunelagem [127].

Saliente-se que a competência para realização de obras subterrâneas poderá ter como ponto de partida a experiência na construção de um túnel idêntico ao atual, mas também é habitual considerar como experiência prévia para efeitos de competência os trabalhos já realizados em ambiente de mina, que é um espaço com um ambiente ocupacional semelhante. Saliente-se o caso de Portugal, país com grande tradição mineira e onde é frequente encontrar, em obras subterrâneas, trabalhadores com idade avançada e com décadas de experiência em ambiente mineiro.

As linhas orientadoras da ITA especificam que se conduza uma auditoria à competência técnica, às qualificações, e à experiência dos elementos-chave a serem direccionados para o projeto; isto inclui uma auditoria à competência em matéria de prevenção. Deste modo, é possível aferir desde logo se a mão-de-obra técnica se adequa à obra em questão.

6.5.2. Formação

A indústria da tunelagem mostra-se cada vez mais desafiadora e complexa, o que obriga a um aumento da necessidade de formação mais específica para diversas tarefas, com o objetivo de evitar potenciar o aumento dos índices de sinistralidade.

As vantagens de implementar ações de formação são diversas:

- Cumprir o requisito legal que obriga a entidade empregadora a ministrar formação a todos os trabalhadores [108];
- Melhorar a perceção do risco por parte dos trabalhadores [106];
- Aumentar a consciencialização para a necessidade de cumprimento de regras e adoção de uma atitude proativa [274];
- Adotar melhores práticas, com consequente diminuição da sinistralidade laboral [275];
- Reduzir o risco de falhas por falta de conhecimento da tarefa [92];
- Um trabalhador bem formado numa determinada área pode poupar custos e diminuir o tempo gasto com formação ministrada em estaleiro, diminuindo a curva de aprendizagem e minimizando as possibilidades de erro [272]. Saliente-se que muitos dos grandes problemas, incluindo as sementes para futuros problemas, surgem em fases precoces do processo de construção. Ou seja, ocorrem na curva de aprendizagem, que é a fase antes de estar estabelecida uma familiaridade com o método em utilização e antes de os efeitos da formação surgirem [13];
- Melhorar as hipóteses de sobrevivência dos trabalhadores em caso de acidente, no caso de terem formação sobre emergências [276]. O treino em combate a incêndios, por exemplo, pode ser muito útil, uma vez que os bombeiros podem não chegar a tempo [131].

Em contrapartida, a falta de formação, especialmente em algumas funções, pode ter efeitos muito graves, como o aumento da taxa de AT e ATM [217]. Esta lacuna formativa pode ocorrer por diversos motivos, incluindo a existência de barreiras linguísticas entre formador e formando (saliente-se a cada vez maior mobilidade dos

trabalhadores entre países), impedindo a compreensão dos riscos por parte do trabalhador [268]. A ITA reconheceu a importância da formação e das barreiras linguísticas há vários anos. Publicou um livro ilustrado, “Safety in Tunnelling”, traduzido em diversas línguas e que é utilizado em vários países.

Por seu lado, a formação reveste-se de uma importância cada vez maior, dado que permite incidir sobre uma componente de atitude individual, fator importante na gestão de equipas [75], que tem bastante influência sobre o nível de risco com que o trabalhador vai realizar o trabalho. De facto, se o trabalhador não estiver recetivo à recomendação ou ordem que lhe for dada, ele não a vai cumprir.

A necessidade de formação específica para alguns tipos de funções e trabalhos é sublinhada na literatura científica e técnica. Seguem-se alguns exemplos:

- Quadros técnicos, preferencialmente como parte da sua formação académica e desenvolvimento profissional contínuo [75];
- Trabalhadores encarregados da montagem de pegas de fogo, designadamente no que se refere a risco de invasão de áreas de segurança [115];
- Operadores de projecção de betão [162];
- Trabalhadores encarregados da movimentação de aduelas [108];
- Trabalhadores envolvidos em trabalhos sob pressão [75];
- Trabalhadores que possam vir a necessitar de utilizar câmaras de refúgio [219];
- Trabalhos que envolvam movimentação manual de cargas com potencial para atingimento de coluna [169].

O facto de o MEC envolver maior quantidade de mão-de-obra do que o MET faz com que exista maior vulnerabilidade para falha humana [76], o que maximiza a importância do fator “formação” como minimizador da probabilidade de ocorrência de atitudes individuais perigosas [1]. No caso da tuneladora mecanizada, esta obriga a semanas de treino e iniciação, sendo de esperar que a familiarização seja longa – até 6 meses, dependendo da complexidade da tuneladora [60].

A posição do *Crossrail* é de realçar. Devido aos milhares de trabalhadores que viriam a passar pela obra, deu apoio à criação, em 2011, de um centro específico de formação para trabalhos em solos brandos, a “*Tunnelling and Underground Construction Academy*” (Figura 55).



Fig.55-Edifício do “Tunnelling and Underground Construction Academy” [277]

Este centro, propriedade da “Transport for London”, que o autor teve oportunidade de visitar, é o único deste tipo na Europa, estando equipado com diversos equipamentos que simulam o ambiente subterrâneo. Aqui, os trabalhadores frequentam uma formação de um dia, com componente prática, que lhes permite acederem ao “Tunnel Safety Card”, requisito essencial para trabalharem em obras subterrâneas no Reino Unido.

Fora da Europa, temos outro exemplo de centro de formação específico para obras subterrâneas, que é a *Tunnelling Training Academy*, na Malásia, fundada em 2011, pela empresa Gamuda.

A formação a ministrar aos trabalhadores pode ser de acolhimento, de especialização, ou de sensibilização.

Formação de acolhimento - Em diversos países, há sistemas que definem o nível mínimo de formação inicial necessária (por ex.: Finlândia – Occupational Safety Card; Irlanda – Safe Pass; Espanha – Tarjeta Profesional de Construcción). Em alguns países, é obrigatório frequentar essa formação (com realização de exame e obtenção do cartão) para poder aceder aos estaleiros [1]. Em Portugal, não existe definição do nível de formação mínimo que o trabalhador deve ter, sendo habitual os trabalhadores receberem formação de muito curta duração (muitas vezes, de menos de uma hora), em que são referidas as regras básicas de segurança a cumprir [14]. Infelizmente, nem sempre é adequada à obra em questão e respetivos condicionalismos. Grande parte das vezes é também bastante superficial, não falando sobre temas relevantes e que terão impacto no rendimento dos trabalhadores. Um dos meios pré-definidos utilizados por alguns Donos de Obra portugueses é a obrigatoriedade de todos os trabalhadores frequentarem uma formação básica de segurança [77]. À semelhança do já praticado há muitos anos em diversos países da Europa, esta formação é um certificado de conhecimentos mínimos em matéria de Higiene, Segurança e Saúde, atribuído após a conclusão, com aproveitamento, de uma formação, com vários módulos avaliados, de cerca de 14 horas.

Formação de especialização ou indução - Considerada como essencial na *British Standard 6164* [108], este tipo de formação é essencial para os novos trabalhadores no setor [75], antes de iniciarem o trabalho [108]. Além disso, também pode e deve ser ministrada aos trabalhadores mais antigos, como forma de refrescar conhecimentos. A formação incide sobre uma tarefa (ou conjunto de tarefas) específica, e deverá incluir a

explicação dos métodos de trabalho, os riscos associados e respetivas medidas preventivas, e os procedimentos de emergência.

Formação de sensibilização - Esta deve ser ministrada sobre os temas necessários e específicos, tendo em conta as características e condicionalismos da obra. Poderá abordar assuntos como manobra de equipamentos móveis, segurança rodoviária (nomeadamente em casos em que haja presença de gelo na estrada), manuseamento de explosivos, primeiros socorros, manuseamento de extintores (Figura 56), comunicação de quase-acidentes, etc. [181].



Fig.56-Formação sobre manuseamento de extintores

Existem diversos métodos para implementar a formação: leitura de textos, palestras, visualização de vídeos, formação à distância [278]... É importante referir que a formação não se deve cingir a formação em sala, nomeadamente para tarefas altamente operacionais. O modo de formação deve sempre ser o mais adequado às características dos trabalhadores e dos trabalhos. Qualquer que seja o modo escolhido, no entanto, é importante verificar se os trabalhadores absorveram e compreenderam a informação dada. Assim, deve haver provas de avaliação de conhecimentos, para os trabalhadores demonstrarem os conhecimentos que adquiriram e se verificar a eficácia da ação de formação ministrada [77].

Salientam-se dois métodos formativos alternativos: o tutorial e o virtual.

Formação tutorial: este tipo de formação parte do princípio que os intervenientes no processo de construção podem providenciar o ambiente para formação prática e aprendizagem [272]. No TdM, foi implementada uma formação para manobreadores de equipamentos móveis [1]. A formação foi dividida em duas partes. A primeira parte consistiu no enquadramento, realizado por formador interno do construtor (Figura 57).



Fig.57-Formador junto a manobrador [31]

Incluiu a avaliação de competências na operação de equipamentos (se o operador tivesse uma avaliação inferior a determinado valor pré-definido não poderia operar o equipamento até receber formação específica e ser novamente avaliado) e a formação prática em contexto de trabalho (individual e com duração variável, consoante o grau de proficiência e as dificuldades apresentadas, e visando a melhoria das competências técnicas na operação, manutenção e segurança de equipamentos móveis de produção [274]). Esta formação foi seguida de uma avaliação de competências, para aferir a proficiência de cada trabalhador em competências associadas à manobra dos equipamentos móveis de produção [274]. A segunda parte, com duração de entre 2 e 5 dias, promoveu o aperfeiçoamento, sendo realizada em parceria com os fornecedores de equipamentos, com o intuito de proporcionar conhecimentos que permitam reduzir perdas de produtividade através da correta utilização dos equipamentos móveis de produção, nomeadamente ao nível da prevenção de riscos de acidentes e na manutenção de 1.º nível [1]. A opção de utilizar um monitor interno (imbuído da cultura da empresa, com elevado conhecimento de cada equipamento, adaptável aos horários necessários, e garantia, pela larga experiência e antiguidade na empresa, de respeito por parte dos trabalhadores) revelou-se de extrema utilidade nos processos de recrutamento e seleção, bem como nos processos formativos e avaliativos das competências técnicas dos operadores.

Formação virtual - O uso de meios virtuais, em 3D ou 4D, é cada vez mais uma realidade no setor da construção. Os simuladores são um dos meios deste tipo mais conhecidos e são parte relevante das preocupações atuais dos fornecedores (Figura 58).



Fig.58-Simuladores [277]

Este tipo de formação é caracterizado por diversos autores como o melhor caminho didático para converter trabalhadores inexperientes em manobreadores habilitados, ainda que sem experiência real.

Este é um tipo de formação segura, eficiente e sem custos (de gásóleo, betão ou acelerador de presa, no caso de simuladores de robôs de projeção de betão). Além disso, permite que os equipamentos reais estejam libertos para produzir e permite treinar situações de risco. Ao propiciar menor stress, promove uma aprendizagem mais rápida do que a tradicional formação, promovendo a capacidade de mudar comportamentos humanos mais eficazmente do que o ensino didático com o mesmo material [278].

6.6. Bem-estar e saúde do trabalhador

6.6.1. Bem-estar do trabalhador

Prestar atenção aos colaboradores é dos pontos mais importantes para a prevenção [279]. Esta atenção deve incidir nas componentes física e psicológica, e deve vir, em primeiro lugar, por parte das hierarquias superiores da empresa. A aproximação entre a administração e os trabalhadores tem vindo a ser explorada, com bastante sucesso, como um requisito essencial para o êxito da prevenção. O efeito da vinculação da administração aos trabalhadores foi, aliás, motivo de uma das passadas Campanhas da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, sob o tema “Juntos na prevenção de riscos profissionais”. Diversos autores têm escrito sobre o impacto positivo, em termos de prevenção, do envolvimento entre chefias e trabalhadores: relações positivas com subordinados promovem reações positivas para segurança [269]; os AT são menos quando os trabalhadores se envolvem [280]; os trabalhadores são importantes para gerar novas ideias [85]. Ora, quem melhor que o trabalhador conhece as especificidades do seu local trabalho e as dificuldades do trabalho que desenvolve diariamente? Certamente que os seus superiores têm uma ideia sobre isso, mas, como não sentem as especificidades na pele, apresentam limitações para as gerir.

No entanto, atualmente verifica-se que o trabalhador é pouco envolvido nos problemas da área de segurança, designadamente na identificação de soluções preventivas para a sua própria segurança e saúde [268]. Muitas vezes, é o próprio trabalhador que se retrai neste espírito de colaboração, por ter receio de represálias na sequência daquilo de que reclamar. Um dos meios interessantes que o autor encontrou na NLE foi uma caixa de sugestões, ou cartões de comunicação, que permitem aos trabalhadores fazer observações anónimas,

positivas e negativas e, posteriormente, verem estas observações respondidas em postos de informação (Figura 59).

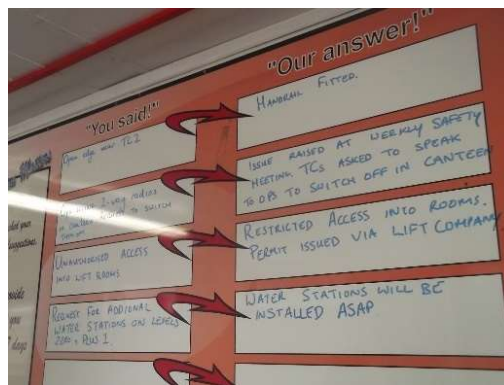


Fig.59-Painel de informação [281]

Ao longo dos anos, as empresas de construção, numa perspetiva de aproximação entre administração e trabalhadores, têm adotado diversas práticas de recursos humanos, tais como participação dos trabalhadores, avaliações de desempenho, gestão de stress organizacional, em adição a procedimentos habituais de gestão de risco, na sua maior parte técnicos.

Estas áreas, que podem influenciar bastante a prestação do trabalhador, podem ser: a comunicação, o compromisso, o respeito pelo papel de cada um, a transparência na informação passada, a confiança que lhe é atribuída, o espírito de colaboração e a justiça [279].

A motivação dos colaboradores da empresa sai reforçada quando as equipas são reconhecidas e recompensadas pelos seus sucessos, e um modo de o fazer é adotar o uso de incentivos, desde que corretamente aplicados [92], para encorajar e premiar comportamentos seguros e cumprimento das regras de Segurança. Em contrapartida, aplicar-se-ão penalizações, para comportamentos inseguros, em caso de não cumprimento das regras de Segurança. A implementação de incentivos e penalizações em obras resulta num melhor desempenho de segurança e num menor número de acidentes, em comparação com projetos sem este modelo, e os resultados são mais notórios se os critérios para a sua atribuição forem implementados de modo adequado [282]. Tome-se o exemplo da empresa responsável pela construção da obra subterrânea do Túnel do Marão, "EPOS-Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas". Em termos de incentivos, eram atribuídos prémios mensais de desempenho de acordo com a performance obtida. Naturalmente, este sistema teve de ser cuidadosamente monitorizado, de modo a não existir o risco de acidentes de trabalho e quase-acidentes não serem comunicados para evitar a perda de prémio. Quanto às penalizações, estas eram atribuídas consoante a gravidade da situação, e eram indexadas aos prémios de produtividade e segurança, o que significa que cada tipo de ocorrência tinha uma penalização económica associada. Os resultados do sistema foram uma diminuição significativa de atos inseguros e uma minimização da repetição de atos inseguros. Também se observou uma otimização de controlo operacional e uma seleção natural de empregados que mereciam continuar na empresa, acompanhado de uma maior transparência na avaliação dos colaboradores. Com esta ação, foi, portanto, possível influenciar as escolhas individuais [283].

No entanto, do mesmo modo que são estabelecidos prémios por cumprimento das normas de segurança, também podem ser estabelecidos prémios por alcançar metas produtivas, que poderão revelar alguma incompatibilidade de interesses, dado que nem sempre um trabalho realizado com maior velocidade implica melhores níveis de segurança. Antes pelo contrário...

Outro problema se levanta: se não forem corretamente implementados e monitorizados, os programas de incentivos e penalizações podem trazer desvantagens, pois podem levar à não-comunicação de acidentes [269], com o fim de atingir as metas pré-definidas (por exemplo, um determinado número de horas ou dias sem acidentes). Esta tendência de não comunicação de acidentes de trabalho é um problema em termos mundiais, impulsionado pela pressão produtiva, designadamente em termos de subempregados a quem muitas vezes é pedido para não comunicar um determinado AT, para que a estatística não apareça nos registos da empresa. Há quem defenda mesmo que um registo de zero incidentes pode ser um primeiro sinal de que a empresa não está a dizer a verdade.

6.6.2. Saúde do trabalhador

A gestão de saúde ocupacional em estaleiro tem duas funções primordiais: assegurar a capacidade física e psicológica para o trabalho e tratar de doenças profissionais. Diversa literatura refere, no entanto, que existe pouca preocupação com esta área na construção, sendo a saúde subvalorizada relativamente à segurança. A diferença de valorização deste tema foi a principal diferença encontrada entre Portugal e Inglaterra. Enquanto, em Portugal, este é um tema lateral e totalmente secundarizado, em Inglaterra é um dos focos da atenção das empresas.

Tal pode ter como explicação o facto de os problemas de saúde terem frequentemente efeitos a longo prazo, o que dificulta, ou impossibilita mesmo, o conhecimento posterior da obra que mais contribuiu para o aparecimento da doença no trabalhador, ao contrário dos acidentes de trabalho, que têm efeitos imediatos ou a curto prazo, em termos de tempos de paragem.

O trabalhador de obras subterrâneas não tem muitas semelhanças com o trabalhador da construção civil em geral. Geralmente, vive longe de casa e de aglomerados urbanos centrais, e tem um acesso limitado a serviços de saúde, factos agravados pelos trabalhos de grande exigência física e psicológica, em locais quentes, húmidos e afastados da superfície (propiciando desidratação), e por turnos que afetam o relógio biológico dos trabalhadores [284].

A vigilância médica assume um papel de destaque, dado poder encontrar precocemente sinais de patologias, bem como reduzir atrasos de trabalhos e promover um processo de construção mais eficaz [285]. A identificação de sintomas e sinais associados à saúde do trabalhador é um primeiro passo para a prevenção e deve ser reconhecida pelas chefias [108]. Conforme já referido, a comunicação destes deve ser incentivada.

Este tipo de acompanhamento tem vindo a ser a opção de grandes Donos de Obra ingleses. As experiências do Parque Olímpico em Londres foram reconhecidas como um dos melhores exemplos de boas práticas em projetos de construção no Reino Unido [285]. O *Crossrail* e NLE seguiram o exemplo do Parque Olímpico tendo

dado uma grande ênfase à gestão da saúde dos trabalhadores. Nestas obras, implementou-se o princípio de “*health like safety*”, encorajando os intervenientes a encarar os riscos para a saúde como parte das suas atividades do dia-a-dia, simples de integrar na gestão de segurança existente, quer em termos de assunto de reuniões, quer em termos de troca de experiências. As equipas envolvidas implementaram ações de diversos tipos, tais como mini-exames de saúde, ações de sensibilização sobre diversos temas, como a hidratação ou a cessação do tabagismo, a diabetes e a monitorização da evolução de problemas de saúde durante a fase de obra. Esta abordagem teve impactos bastante relevantes nas atitudes e comportamentos de trabalhadores e gestores. Em termos numéricos, o promotor do Parque Olímpico estima que a opção de acompanhar medicamente os trabalhadores no interior do estaleiro tenha poupado 67.940 horas, comparado com o tempo que seria necessário para fazer as consultas fora do estaleiro. Verifica-se, assim, que existe um bom potencial de retorno do investimento realizado [286]. Aliás, já Vogel referia esta necessidade, afirmando que deve existir um paramédico disponível em estaleiro 24 horas por dia [131].

Uma das áreas em que a medicina no trabalho pode atuar é nas restrições ao consumo de álcool, substâncias psicotrópicas, e medicamentos. O controlo de álcool e substâncias psicotrópicas revela-se como uma primeira medida preventiva para despistar a eventual presença de condicionadores de ação dos trabalhadores. Esta despistagem pode e deve ser realizada na admissão do trabalhador, periodicamente e após ocorrência de acidentes de trabalho [174]. No entanto, estas substâncias não são as únicas que podem limitar a ação dos trabalhadores. É essencial ter também em atenção os efeitos secundários de alguns tipos de medicamentos, como, por exemplo, os anti-histamínicos ou os antitússicos, que têm o potencial para causar sonolência. É de salientar aqui a importância da supervisão na deteção de comportamentos fora do comum. As mudanças súbitas de humor, irritabilidade ou agressividade fora do comum, tendência para ficar confuso, flutuações anormais de concentração e energia, redução de desempenho, aumentos de baixas, deterioração do relacionamento com colegas ou chefias, desonestidade e roubo, podem ser indicativos de problemas relacionados com este tipo de consumos.

A existência de boas condições de higiene é uma necessidade básica, mas que tem bastante impacto no bem-estar do trabalhador [57]. Estas necessidades são máximas quando a escavação decorre em solos contaminados ou na presença de substâncias cáusticas ou irritantes, que propiciam contaminação através de inalação ou ingestão de substâncias prejudiciais. Estudos do HSE revelam que pode ser obtida uma redução no número de casos de doenças menores através deste tipo de serviços que favoreçam a higiene pessoal [57]. No entanto, as boas condições de higiene, que poderão passar por instalações sanitárias e zonas de lavar as mãos, podem ser difíceis de criar, pela exiguidade do espaço, designadamente em túneis de reduzido diâmetro.

6.7. Infraestruturas de estaleiro

6.7.1. Infraestruturas de comunicação

Uma boa rede de telecomunicações é fundamental para a eficiência do processo produtivo, transporte e controlo de trabalhadores [108]. Esta rede permite: distribuir informações e instruções, controlar operações de elevação, de transportes de pessoas, materiais e equipamentos, monitorizar equipamentos e sistemas, como o de ventilação, gerir situações de emergência [108]. As comunicações, que devem ter uma fonte de energia independente da do túnel, devem estar asseguradas em todos os locais onde possa vir a ser necessária a comunicação, designadamente entre o interior e exterior do túnel [129], bem como entre elementos unitários. A distância entre meios de comunicação (por ex., telefones no interior do túnel (Figura 60)) não pode ser excessiva.



Fig.60-Telefone no interior de túnel [58]

A seleção do tipo de sistema de comunicações (via rádio, linha fixa ou mesmo por câmaras) deverá considerar: a dimensão e o comprimento do túnel, o número de trabalhadores no interior do túnel, o método de escavação em utilização e os riscos específicos de cada túnel.

6.7.2. Infraestruturas de iluminação

Os olhos desempenham um papel de relevo em todas as atividades e movimentos do trabalhador, na sua perceção de movimentos e na sua orientação espacial [106]. A iluminação é um assunto discutido há várias décadas, conforme se pode aferir pelo cartaz exposto na Figura 61.

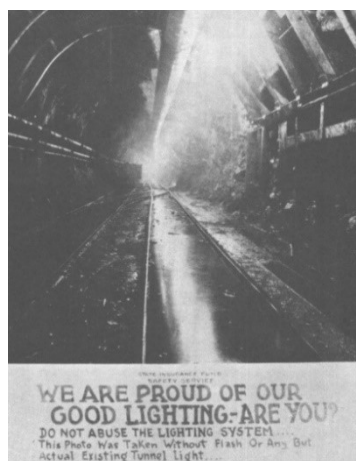


Fig.61-Cartaz informativo relativo a iluminação [180]

Um bom nível de iluminação é um grande contributo para a segurança durante a construção de OS [108]. Este nível é função do rendimento e localização das luminárias, das dimensões do túnel, da capacidade de absorção de iluminação pelas superfícies envolventes, e das condições atmosféricas. Em contrapartida, uma iluminação insuficiente (que pode ocorrer por diversos motivos, incluindo a elevada concentração de poeiras ou vapores [121]) pode provocar fadiga visual, quedas, escorregamentos, colisões, atropelamentos ou esmagamentos, e choques com objetos imóveis [129]. A fadiga visual pode provocar uma série de perturbações, desde mal-estar e visão toldada até dores de cabeça, contração dos músculos faciais e, mesmo, uma postura geral do corpo incorreta. Por sua vez, um nível exagerado de iluminação pode conduzir a encadeamentos, que podem ser críticos, por ex., na circulação de equipamentos. As transições de zonas com elevado nível de luminosidade para zonas com baixo nível (situação típica no emboquilhamento do túnel) podem também trazer problemas, dado que a habituação dos olhos às condições de luminosidade é gradual e demorada [121]. Um caso exemplificativo de trabalhadores que sofrem deste problema é o caso dos condutores manobreadores de equipamentos móveis na entrada e saída pelo emboquilhamento, designadamente em horas de maior exposição solar, tais como o nascer e o por do sol (consoante a orientação do emboquilhamento).

6.7.3. Infra-estruturas de ventilação

A ventilação natural é usada, desde o tempo dos antigos egípcios, para ventilar espaços subterrâneos, tirando partido das diferenças de pressão por descida da temperatura exterior durante a noite [287], para obstar à acumulação de gases nocivos dentro do túnel. Ora, apesar de se terem passado vários séculos, o problema mantém-se: numa obra deste tipo, geram-se diversos agentes que contaminam o ar interior, como poeiras provenientes da escavação do maciço, gases de explosivos, ou gases de exaustão de equipamentos. Mas a existência de ventilação natural implica uma dependência de pressões de ar exterior que determinarão a direção do fluxo de ar [156].

Felizmente, a técnica foi evoluindo ao longo dos séculos, sendo que a ventilação artificial é agora essencial, dadas as características das obras atuais. Sendo assim, o sistema de ventilação mecânica temporária é,

atualmente, um dos requisitos fundamentais para garantir uma atmosfera saudável e que permita a proteção da saúde dos trabalhadores [288], evitando a livre circulação dos contaminantes pelos túneis. A este respeito, pode salientar-se que a inalação de gases e partículas perigosas provenientes de equipamentos, materiais ou maciço rochoso, é mesmo um dos maiores desafios de segurança e saúde na construção subterrânea [77].

A existência de boas condições de ventilação encontra-se também associada às condições de trabalho, sendo amplamente admitido que tanto a segurança como as condições de trabalho no túnel dependem da eficiência do sistema de ventilação [289]. Um exemplo da relação entre a qualidade do ar e o rendimento da obra pode ser visto nos locais onde há produção de poluentes resultantes da aplicação de explosivos: os ciclos de produção estão condicionados à eficácia dos sistemas de ventilação existentes, que regulam a qualidade do ar.

A abordagem à questão da qualidade do ar não pode ser linear, dado que nem sempre um determinado gás tem o mesmo efeito sobre todos os indivíduos, pois cada um tem uma sensibilidade e suscetibilidade diferente para os seus efeitos. Assim, não se deve presumir que determinadas condições, que são seguras para um determinado indivíduo, o serão para todos [108].

No entanto, há algumas linhas orientadoras essenciais, sendo que uma atmosfera pode ser considerada perigosa se:

- Tiver uma percentagem inferior a 19,5% de oxigénio no volume total do ar à pressão atmosférica normal;
- Tiver uma percentagem superior a 23,5% de oxigénio no volume a pressão atmosférica normal;
- A concentração de gases inflamáveis, vapores, névoas ou fumos, exceder 5% do Limite Inferior de Explosividade do agente em questão;
- Um produto químico perigoso em forma de poeira se encontrar em quantidade e forma que resulte em criação de zona de risco.

As consequências, em termos de segurança e saúde, de uma deficiente ventilação podem variar, dependendo do agente presente. São elas a exposição a calor excessivo; acumulação de fumos; edema e congestão nasal ou inflamação de vias respiratórias [119]; problemas circulatórios ou respiratórios a curto, médio ou longo prazo; fadiga; falta de capacidade de discernimento.

Portanto, a acumulação de gases por deficiente ventilação pode criar grandes perigos em tunelamento [148], porque podem ser tóxicos, inflamáveis/explosivos, ou asfixiantes [108].

Salientam-se de seguida os possíveis eventos relacionados com gases:

Excesso de oxigénio [127] – derivado de combustão, corrosão, desoxigenação. Provoca respiração acelerada, fadiga durante esforço, náuseas, incapacidade de movimentos livres, colapso, paragem respiratória e cardíaca.

Insuficiência de oxigénio – situação de potencial asfixia. Pode ocorrer por absorção de oxigénio em depósitos orgânicos porosos, no caso de maciços com ar a baixa pressão ou por entrada de ar com baixa pressão por mudanças de pressão derivadas de condições atmosféricas [108].

Monóxido de carbono [127] – O monóxido de carbono raramente ocorre naturalmente [108], tendo geralmente origem nos gases de exaustão de veículos a diesel [289], em fumos de incêndio [108], e na combustão lenta de carvão ou madeira. Também pode surgir fruto de combustão espontânea ou de explosivos [108], casos mais sérios. É um gás sem sabor nem cheiro, bastante tóxico, asfixiante e potencialmente explosivo. Provoca dores de cabeça em poucos minutos, colapso em cerca de meia hora, coma numa hora e morte em 1,5 horas.

Dióxido de carbono [127] – O dióxido de carbono ocorre devido aos gases de exaustão de equipamentos a diesel, detonação de explosivos, ou reações entre água e maciço rochoso [2]. O dióxido de carbono é incolor, mais pesado do que o ar, é tóxico e asfixiante, pois reduz a concentração de oxigénio [137], e é solúvel em água. O seu aparecimento cria um decréscimo de oxigénio (conhecido como “*blacklamp*”), com consequente aumento de dióxido de carbono e óxidos de nitrogénio em quantidades superiores às habituais [108]. Provoca respiração acelerada em poucos minutos de exposição, sensação de dificuldade respiratória pouco depois, dores de cabeça, moleza, sudorese e desorientação, náuseas e letargia [108].

Monóxido de azoto [127] – O monóxido de azoto tem como origem os fumos de explosivos, de soldaduras [108] e de escape de motores [290], bem como bolsadas em maciço rochoso. É incolor, inodoro, altamente tóxico e asfixiante, atacando o tecido pulmonar. Não causa sintomas iniciais, mas causa colapso, com sintomas de broncopneumonia aguda, pouco tempo depois da exposição [108]. Quando exposto a oxigénio, transforma-se em dióxido de nitrogénio [137].

Dióxido de nitrogénio [127] – Pode aparecer em fumos de explosivos, soldaduras ou escape de veículos a diesel [108]. O dióxido de nitrogénio é de cor castanha, cheiro acre, altamente tóxico [290] e solúvel na água, com a qual forma ácido nítrico. Pode causar irritação nos olhos e nariz, atacando o tecido pulmonar lentamente [290], com sintomas de broncopneumonia aguda pouco tempo depois da exposição [108].

Sulfureto de hidrogénio [127] – Ocorre naturalmente no maciço rochoso [289], como produto de decomposição de matéria orgânica, ou resultado de ação de chuva ácida em pirites. É solúvel na água, não tem cor, é altamente tóxico e tem como característica o cheiro intenso a ovo podre. Provoca irritação respiratória ligeira ou bronquite, sendo que, em exposições com altas concentrações, pode provocar perda de capacidade olfativa e visual [108]. Pode ainda causar inconsciência e ser fatal, por paralisia respiratória.

Dióxido de enxofre [127] – É comum nas áreas vulcânicas e também em fumos de exaustão de motores [108]. Com cheiro característico, é solúvel na água, inflamável e tóxico. Provoca irritação nos olhos, nariz, garganta e pulmões. Provoca engasgos e tosse em poucos minutos [108], sendo que uma exposição mais prolongada pode ser fatal.

Amónia [127] – Tem origem no uso de certas argamassas com compostos químicos, nos fumos de explosivos, caldas químicas, ou reações entre químicos e o solo [108]. É corrosiva.

É óbvio que os trabalhadores a desenvolver trabalhos na frente de escavação podem estar sujeitos aos referidos gases. No entanto, é especialmente importante ter a noção de que poderão estar a ser desenvolvidos trabalhos em zonas distantes da face de escavação (por ex., drenagem, impermeabilização ou infraestruturas)

[108], e que os trabalhadores nesses locais podem ser afetados pelas decisões tomadas na frente de escavação – nomeadamente, poderão ser afetados pela opção de insuflação de ar na frente de escavação, que provoca a passagem de gases pelos locais de trabalho mais distantes da face de escavação [156].

O objetivo do sistema de ventilação passa por, em todas as frentes de trabalho, ajudar a gerir a temperatura e a humidade, introduzir uma corrente regular de ar limpo, e retirar o ar contaminado [291] por poeiras, fumos ou gases. Deve ser feita de tal modo que a percentagem de oxigénio no ar se mantenha suficiente (entre 19,5 e 23,5%). Pretende-se ainda que as concentrações de contaminantes no ar sejam tão baixas quanto possível, mantendo-se em níveis aceitáveis relativamente aos VLE previstos para cada contaminante, e mantendo uma temperatura aceitável.

Qualquer instalação de sistema de ventilação deve cumprir os três princípios [288]: eliminar ou limitar a emissão de poluentes ou substâncias perigosas, através de técnicas e equipamentos adequados; captar as substâncias poluentes o mais perto possível da fonte de emissão; acompanhar a captação de poluentes com insuflação e tratamento específico de substâncias dissipadas.

O sistema de ventilação a escolher deve ter em conta: o número de trabalhadores em cada zona de trabalho, o comprimento, a secção e a inclinação do túnel; o tipo de agentes presentes; a quantidade de calor gerada por equipamento; as eventuais características explosivas da atmosfera; as condições atmosféricas e pressões interiores e exteriores [108]; a não possibilidade de recirculação de ar [131]. Deve ainda ser capaz de eliminar o fumo sem espalhar um potencial fogo [108].

Nem todos os túneis requerem o mesmo sistema de ventilação. O mesmo túnel pode ter diversos esquemas de ventilação durante o decorrer da obra. O sistema varia dependendo das poeiras e gases presentes, da necessidade de insuflação ou extração, e das condições de temperatura e humidade. Adicionalmente, em casos mais complexos, como no caso das obras hidroelétricas, o sistema de ventilação tem de ser dimensionado tendo em conta os diversos trajetos dos circuitos de túneis [108]. É necessário gerir a posição de ventiladores, mangas, velocidade e caudal, de modo a atingir a situação ótima, que pode ser única para cada túnel.

Assim, consoante a geometria do túnel (e respetivas interseções, entroncamentos, bifurcações, etc.), é necessário gerir os pontos mortos e as zonas que sejam mais críticas, como pontos de transferências de tapetes, zonas de circulação pedonal, ou meros obstáculos à circulação do ar.

Naturalmente, quanto menores forem as necessidades de ventilação, ou seja, quanto mais ligeiro for o sistema de ventilação, menores serão os custos de energia associados.

A decisão entre extração e insuflação é um dos primeiros passos para o planeamento do sistema de ventilação e revela-se crucial para o seu sucesso, devendo ser equacionada pormenorizadamente. Existem três principais sistemas de ventilação: forçada, de exaustão, e mista [289].

Insuflação – Neste caso, a manga de ventilação insufla ar fresco na face de escavação ou distribui-o ao longo das galerias [288]. O ar insuflado dilui e transporta o ar contaminado desde a face de escavação [289], percorrendo as galerias até ao emboquilhamento (Figura 62).

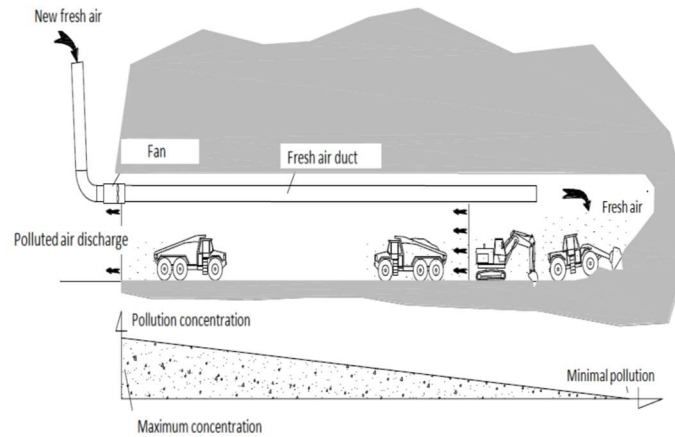


Fig.62-Sistema de insuflação [288]

O ventilador pode encontrar-se no exterior do emboquilhamento ou no seu interior, tendo um troço de manga rígida entre o ventilador e o emboquilhamento. Este sistema usa-se há décadas, conforme se pode observar pela Figura 63, que ilustra um ventilador para insuflação utilizado na década de 1940.

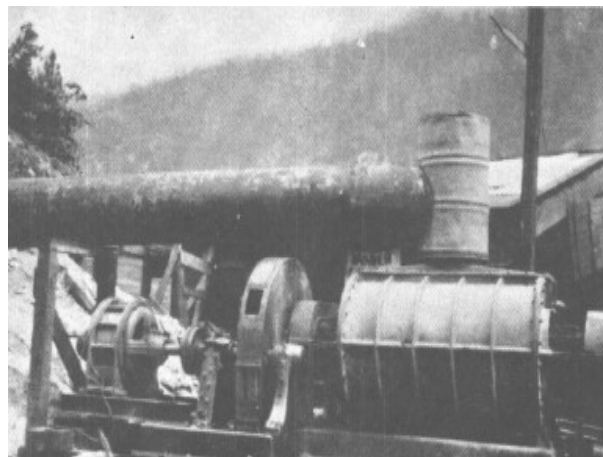


Fig.63-Ventilador [180]

Costuma ser o sistema preferido para ventilação, dada a sua conveniência e economia [289].

Apresenta as seguintes vantagens: dilui e remove poeiras e gases; pode ser utilizada manga flexível, que é uma solução mais económica do que a rígida; os trabalhos em execução em zonas anteriores à face de escavação não a contaminam com os seus gases de exaustão; é possível alterar a temperatura do ar insuflado; as mangas têm menor resistência à passagem do ar, são de fácil instalação e menos susceptíveis a danos por impacto [292]. Como desvantagens, apresenta as seguintes: o sistema baseia-se apenas na diluição de poluentes para garantir os níveis necessários; não é possível a captação dos poluentes na fonte de origem; toda a atividade é realizada em zonas onde o ar já chega contaminado; também espalha as poeiras, resultando

numa segunda exposição às mesmas, e levando-as para zonas mais distantes da face de escavação; as mangas flexíveis tendem a sofrer mais danos e apresentam maior necessidade de manutenção.

No caso do metano, a insuflação é importante, pois este gás, depois de estar misturado com o ar, não se separa, e pode ser retirado do túnel em segurança [108].

Extração – A opção de extração capta os contaminantes do local de emissão, sendo o ar fresco introduzido de forma natural através do emboquilhamento (Figura 64).

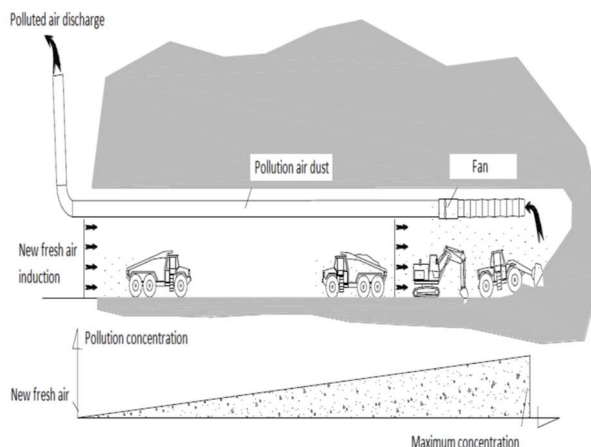


Fig.64-Sistema de extração [288]

É especialmente útil no caso de utilização de explosivos, em que é preciso retirar a nuvem de fumos da frente de escavação o mais rapidamente possível, para a libertar para os trabalhos seguintes. Também é útil no caso de soldaduras [292]. O ventilador deve estar localizado o mais próximo possível da fonte de emissão, ou estar na estrutura, mas a alguma distância da fonte, sendo a ligação feita com tubagem rígida. A manga, estando sujeita a subpressões, deverá ser rígida ou reforçada em espiral [108].

Apresenta as seguintes vantagens: permitindo que o poluente seja captado próximo da fonte, o ar contaminado sai diretamente da frente de escavação sem contaminar outras frentes [292]; existe pouco contacto entre contaminantes e face de escavação; as perdas apenas acontecem na manga; a ventilação de outros locais pode ser assegurada fazendo derivações da manga, e pode incorporar *dedusters*.

Como desvantagens, apresenta: apenas é eficaz numa curta distância do local de entrada na manga; a taxa de instalação de manga rígida é menor do que a da manga flexível (a manga rígida é mais pesada e mais demorada para instalar ou substituir), contribuindo para maiores riscos durante movimentação de peças; os custos da manga rígida são superiores; necessita de mais espaço para armazenamento; há maior probabilidade de falhas devido ao elevado número de juntas; exige maiores gastos devido a maior velocidade para retirar o ar sem deposição de partículas [292].

Os pontos de extração devem estar o mais próximo possível da face de escavação, devendo ser movidos de modo a acompanhar a mesma [108]. Atendendo a que o ar contaminado com poeiras pode ser erosivo, os ventiladores e as mangas devem estar projetados para tal facto [108].

No MEC, a extração na fonte de origem é o modo mais eficaz para retirar poeiras, designadamente quando o volume é grande, por ex., no caso de utilização de roçadeira [292], ou quando há gases de explosivos [108]. No âmbito do controlo de poeiras, esta opção pode revelar-se mais eficaz do que as cortinas de água [98].

Sistemas mistos

Pode ainda haver insuflação e extração ao mesmo tempo, seja com uma única conduta (com ventilador reversível), seja com duas condutas, uma para cada efeito. Isto permite que as poeiras e gases sejam extraídos, por ex., após pega de fogo, e que ar limpo seja introduzido na face de escavação durante o resto do ciclo da mesma.

Uma manga é geralmente suficiente para túneis com comprimentos curtos [108], ou seja, até 5km, sendo que duas mangas, uma para insuflação, outra para extração, são adequadas para túneis maiores que 5km, desde que a secção transversal o permita [293]. No caso de uma única manga para ventilação e extração (opção que traz menos custos do que duas mangas, mas que obriga a que a manga tenha rigidez suficiente para as pressões exercidas), a velocidade deve evitar a deposição das partículas extraídas nas condutas, de modo a que não reentrem no túnel, aquando da insuflação [293].

No caso de se usarem duas mangas, é possível fazer recirculação [289], usando os túneis paralelos. Estes também podem servir, com sobrepessão, como rota de fuga em caso de emergência. Esta opção de recirculação revela-se como preferível para túneis longos, dado conseguir-se recircular ar de modo económico. Após o varamento do túnel, as condições alteram-se inevitavelmente: as temperaturas altas deixam de ser problema, sendo substituídas pelo frio e vento. Isto é especialmente problemático no inverno [182], altura em que as temperaturas se podem aproximar do zero ou mesmo atingir valores negativos, como ocorreu no TdM, em que se verificaram, por diversas vezes, temperaturas inferiores a -3°C . Uma das soluções para este problema poderia ser a montagem de portões, mas estes podem criar dificuldades na ventilação [182]. No entanto, a utilização de barreiras físicas revela-se útil quando se pretende que um determinado volume de ar contaminado (por ex., proveniente de detonação de pega de fogo), não atinja outras zonas [156]. Esta barreira física pode assumir a forma de cortina ou de portão (Figura 65), e faz a separação da área em secções [98].



6.7.4. Infraestruturas fixas de transporte de escombro – tapete transportador

Para remoção de escombros da face de escavação para o vazadouro, o modo a ser usado depende do tamanho e volume escavado por avanço. Diversos fatores influenciam a escolha de meio de transporte de escombros: inclinações, comprimento, taxa de remoção de escombros, existência de passagens transversais, e tamanho e disponibilidade de veículos de carga [108].

As particularidades dos equipamentos móveis vão ser analisadas na avaliação de riscos, pelo que nos iremos concentrar agora nos tapetes transportadores. Para começar, os tapetes transportadores não apresentam uma das desvantagens de muitos equipamentos móveis, ou seja, o facto de, em alguns casos, se tender a utilizar equipamentos de superfície em subterrâneo. A opção por usar tapetes para transporte dos escombros da face de escavação até aos camiões de carga ou diretamente para o exterior, em detrimento de equipamentos móveis [108], tem sido a tendência, especialmente para túneis longos [60]. De facto, a utilização de tapetes transportadores pode reduzir significativamente a frequência dos movimentos de equipamentos móveis no túnel, bem como o tamanho dos comboios, tendo a vantagem adicional de não necessitarem de regularização de pavimento, como acontece para assentamento de carris de locomotivas. Adicionalmente, tem um efeito positivo, em termos de segurança e saúde ocupacional, no ambiente de trabalho, quer na face de escavação como nas zonas posteriores [182], por ex., pela diminuição de equipamentos movidos a diesel e propensos a causar atropelamento. Acompanhando a crescente velocidade de avanço das tuneladoras, a capacidade de escoamento de escombros pelos tapetes tem também aumentado, levando à evolução dos mesmos. Atualmente, é já considerado um sistema que permite a realização mais rápida e eficiente das operações [294]. Aliás, 75% dos recordes de velocidade estabelecidos no MET correspondem a obras onde eram utilizados tapetes transportadores [294], embora não tenha sido este o único fator para tal sucesso, claro. Com o avanço dos desafios em meio urbano, onde têm de existir poços intermédios no túnel, os tapetes têm vindo a assumir uma posição vertical (Figura 66).



Fig.66-Tapete vertical [294]

Naturalmente, nem tudo são vantagens. O tapete pode, pela sua geometria e posicionamento, restringir a execução de trabalhos de revestimento definitivo em zonas posteriores, dado ocupar parte do hasteal [182].

6.8. Planeamento de emergência

6.8.1. Enquadramento

Durante o desenrolar dos trabalhos, podem surgir problemas de carácter imediato e que exijam uma resolução de emergência. Naturalmente, não se sabe onde, quando, e se estas situações vão acontecer, mas o primeiro passo para lidar com situações de emergência é fazer um correto planeamento de emergência. Para tal, é necessário começar por identificar aquilo que pode correr mal, ou seja, ter bem definidos os cenários de situações de emergência que podem ocorrer. Ora, para estas atividades decorrerem com a maior rapidez e eficácia possível, todos os cenários devem estar previstos, para que todos saibam o que fazer em situação de emergência. Além disso, uma das questões que se deve colocar desde o início, pois pode levantar problemas nas operações de socorro, é a localização remota, afastada de centros urbanos, e de acesso difícil de alguns estaleiros.

Vários cenários de emergência se destacam neste tipo de obras, a saber: um acidente de trabalho (por exemplo, o colapso da escavação com soterramento de pessoas, a queda em altura, a eletrização/eletrocussão, o atropelamento, o acidente rodoviário, a intoxicação); uma falta de oxigénio ou a contaminação súbita da atmosfera e falha de fornecimento de energia; uma falha no sistema de ventilação; uma explosão; um incêndio; e uma inundação [1].

Após a fase de identificação de tudo o que pode correr mal, é necessário estabelecer um plano de contingência [69] para cada cenário, tendo em conta a avaliação de riscos realizada e os condicionalismos existentes. Para maximizar a eficiência, este plano deve ser feito em conjunto com as entidades externas de apoio e socorro [108], de modo a que estas fiquem a conhecer a obra. Devem ser discutidos os meios de emergência a utilizar (aferindo a capacidade operacional de cada uma das entidades), agilizando assim a ativação dos meios de socorro (equipamento e infraestruturas necessárias) em caso de acidentes [254]. Para tal, podem e devem ser agendadas reuniões, tais como a realizada aquando de início de obra do TdM, em que participaram diversas entidades externas (Figura 67) - tais como os Bombeiros Voluntários, a Guarda Nacional Republicana, a Polícia de Segurança Pública, a Brigada de Intervenção Florestal, o Instituto Nacional de Emergência Médica e muitas outras, encabeçadas pela Autoridade Nacional de Proteção Civil – com o objetivo de aferir os meios de emergência, externos e internos, necessários em caso de ocorrência de AT.



Fig.67-Reunião com entidades externas [31]

Na verdade, pode acontecer que os serviços de socorro não possuam capacidade de resposta às potenciais situações do túnel. É por esse motivo que devem ser equacionados todos os cenários de emergência possíveis, designadamente aqueles em que a ação de salvamento ou resgate possa apresentar mais dificuldades, devido às características específicas destas obras, tal como acessos difíceis ou espaços com secção reduzida, que obriguem a equipamento de emergência específico. Por exemplo, na eventualidade de um AT em câmara de escavação pressurizada [108], é obrigatório proceder-se à descompressão antes de se poder efetuar a remoção do trabalhador [198]. Fazendo antecipadamente esta análise com as entidades externas, é possível acautelar atempadamente as medidas necessárias para uma operação de socorro eficaz.

Devido às características específicas deste tipo de obras, o plano de emergência deve dar especial atenção aos meios de fuga em caso de emergência e à manutenção de um abastecimento mínimo de energia que garanta o funcionamento dos sistemas de proteção contra incêndio, de bombagem, de monitorização da atmosfera, de iluminação e de comunicações em qualquer situação [1].

6.8.1.1. Medidas organizacionais

Um dos princípios que deve ser seguido é evitar a necessidade de percorrer grandes distâncias a pé em caso de emergência. No caso de túneis paralelos e com galerias de passagem, é importante relacionar o faseamento construtivo com o planeamento de emergência. A existência de passagens de emergência entre as duas galerias, construídas o mais cedo possível, pode ser um primeiro passo, ao criar caminhos cruzados, para agilizar a fuga ou a evacuação [219]. Pode também estabelecer-se uma separação física do ar das duas galerias, de modo a que uma delas possa ser utilizada como refúgio, em caso de contaminação do ar da outra. Nesta situação, o ideal seria que a passagem transversal aberta fosse a que estivesse mais próxima da frente de cada escavação, atendendo a que a maior parte dos trabalhadores poderá estar presente naquele local.

6.8.1.2. Controlo de entradas e saídas de túnel

O controlo de entradas em estaleiro revela-se imprescindível para efeitos de emergência, permitindo determinar rapidamente e com precisão os nomes daqueles que estão em subterrâneo [219]. Isto otimiza a gestão de recursos de socorro, pois evita que se procurem pessoas que já não estavam dentro do túnel quando ocorreu o problema. Este tipo de sistema de registo, ao concentrar os recursos na localização das pessoas que estão registadas como estando dentro do túnel, agiliza as operações de resgate [219] e, portanto, aumenta a sua potencial eficácia.

É prática comum a adoção de um sistema manual de placas para entrada no subterrâneo, conforme Figura 68, que exige uma disciplina rigorosa de cumprimento [77].



Fig.68-Placas para controlo manual de acessos [31]

Este sistema consiste na utilização de chapas ou cartões de identificação, que são colocados num painel junto a emboquilhamentos. No entanto, este sistema pode não ser suficiente. Primeiro, por diversos motivos (incluindo a necessidade de entradas e saídas constantes do túnel ou a complexidade do sistema de túneis), o trabalhador (designadamente os manobreadores [295]) ou o visitante pode não cumprir o procedimento de colocar/retirar as chapas/cartões do painel [77]. Em segundo lugar, o sistema não deteta entradas de elementos não autorizados [295].

Portanto, no caso de uma única entrada, o sistema tradicional de chapas poderá ser adequado. No entanto, para múltiplas entradas, terá de ser utilizado um sistema mais sofisticado [108].

Uma das hipóteses é a utilização de um sistema eletrónico que regista automaticamente quando a pessoa se desloca para dentro ou para fora do túnel (Figura 69), permitindo a identificação rápida dos trabalhadores no interior do túnel, se necessário, em caso de evacuação [77]. Naturalmente, os trabalhadores que não tiverem um identificador não poderão ser socorridos tão agilmente.



Fig.69-Sistema de controlo eletrónico de acessos [277]

Este sistema é composto por dois elementos: identificadores pessoais, em forma de pulseira com chip, para fácil transporte, e que permitem ao vigilante fazer a leitura sem contacto; e equipamentos portáteis para registo de dados, dotados de um leitor de fotografia. Este terminal, por sua vez, pode funcionar em modo de leitura ou de validação. No primeiro, apenas regista o identificador, contando os movimentos de entrada e de saída; no segundo modo, o leitor pode validar o identificador, verificando se este é conhecido (relacionado com um trabalhador) e se o trabalhador tem permissão de acesso aos túneis. Compete depois ao segurança agir em conformidade com a informação que o sistema disponibiliza.

6.8.1.3. Meios de emergência

6.8.1.3.1. Equipas de socorro e resgate

As equipas de resgate, internas ou externas, têm como função o apoio a sinistros que possam ocorrer em obra. O tempo de intervenção para equipas de resgate externo pode, dependendo do local, ser muito longo [131], o que significa que devem existir trabalhadores formados para o efeito [148]. Uma operação de resgate num túnel cheio de fumo denso, em ambiente quente e húmido, leva a equipa de resgate ao limite, pelo que esta deve estar munida de equipamentos especiais para proteção contra o calor [131].

6.8.1.3.2. Câmara de refúgio

Por vezes, é impossível fugir do interior do túnel em segurança. Para essas eventualidades, é necessário acautelar alternativas à fuga para superfície em caso de emergência.

Uma das medidas comuns na literatura é a existência de câmaras de refúgio. A câmara de refúgio é um lugar de relativa segurança [108], de funcionamento autónomo, que os trabalhadores podem ter como ponto de encontro e onde se podem acomodar em caso de emergência até serem resgatados ou até ser seguro sair do túnel [14] (Figura 70).



Fig.70-Câmara de refúgio [296]

O cenário de emergência mais provável para a utilização de uma câmara de refúgio é a presença de fumo e a contaminação da atmosfera [108]. De notar, no entanto, que a câmara não serve como meio de salvamento para o caso de inundações, colapsos ou derrocadas.

A câmara é dotada de funcionamento, ventilação e purificação de ar autónomos, serviços básicos de suporte de vida, comunicações e primeiros socorros (Figura 71)



Fig.71-Interior de câmara de refúgio [296]

Este equipamento permite também proceder à contagem de pessoas, minimizando assim, potencialmente, a necessidade de utilização de equipas de resgate.

Em junho de 2014, foram lançadas as recomendações da ITA relativamente ao uso de câmaras de refúgio [219]. Neste documento, refere-se a necessidade de avaliação das câmaras de refúgio como parte da avaliação de riscos do projeto do túnel (considerando as várias hipóteses de locais seguros para escape). Salvaguarda-se, no entanto, que cada túnel deve ter uma câmara de refúgio, a menos que a avaliação de riscos demonstre que esta não é necessária (por ex., no caso de existirem duas galerias paralelas com passagens transversais a intervalos não muito grandes entre si). Além disso, nem todos os túneis são largos o suficiente para acomodar uma câmara de refúgio, ou tão longos que necessitem de uma – por exemplo, os túneis com menos de 500m

podem não necessitar de câmara de refúgio [108]. O número de câmaras instaladas, bem como a sua localização, devem ser determinados tendo em conta o número de trabalhadores expostos ao risco e as opções existentes para evacuação para local seguro.

6.8.1.3.3. Máscara de emergência

Devido a todos os condicionalismos deste tipo de obra e todas as dificuldades nas operações de resgate, as medidas de auto-resgate são de extrema importância em obras subterrâneas [131].

A máscara de emergência é um equipamento internacionalmente aceite para situações em que a atmosfera se encontra irrespirável, com deficiência de oxigénio. Por exemplo, em caso de incêndio, o problema inicial com que um trabalhador se confronta é assegurar o mais rapidamente possível uma fonte de ar respirável [14]. O uso da máscara permite ao trabalhador proteger-se dos gases derivados do fogo, facilitando a sua fuga até à superfície ou zona de refúgio. A sua utilidade passa por garantir o abastecimento de ar não contaminado, durante um determinado período de tempo, sendo que o rendimento da máscara pode ser afetado pelo estado do trabalhador. Todos os que vão para subterrâneo [108] (incluindo visitas) devem ter máscara com abastecimento de oxigénio para, no mínimo, 20 minutos de circulação a pé [108], salvaguardando-se que a duração do abastecimento de ar fornecido pela máscara terá em conta a distância ao ponto de ar fresco mais próximo.

As máscaras de emergência (Figura 72), embora muito úteis, apresentam a limitação de não poderem ser utilizadas em trabalhos com pressões acima de 1 bar, devido a toxicidade do oxigénio [108]. Para ultrapassar este problema, já está em fase de testes uma máscara de emergência para uso a 3,5bar [108].



Fig.72-Máscara de emergência em utilização [297]

6.8.1.3.4. Instalações específicas para emergência

Em termos de equipamentos para estaleiro, caso o estaleiro esteja localizado longe de locais centrais ou locais com veículos de emergência, devem ser considerados meios suplementares de apoio para um socorro atempado [77]. O heliporto é uma opção neste tipo de estaleiros [108].

Por exemplo, no TdM, na sequência de reuniões com a Autoridade Nacional de Proteção Civil, foi verificada a necessidade de otimização de tempos de transporte entre a zona do emboquilhamento dos túneis e o hospital mais próximo. Assim, foi reservado um local para aterragem de helicóptero (Figura 73).



Fig.73-Local reservado para heliporto [31]

Adicionalmente, foi criado espaço para, se necessário, se instalar um hospital de campanha, para um primeiro socorro no caso de um acidente de trabalho com vários feridos [1].

6.8.1.4. Simulacros

A realização de simulacros periódicos permite aferir o funcionamento da estrutura de emergência e a sua capacidade de resposta em caso de necessidade, devendo ser realizados exercícios regulares que incluam o serviço de ambulâncias, bombeiros e polícia [127].

Exemplifica-se este assunto com o simulacro realizado no TdM como forma de testar e avaliar a implementação do Plano de Emergência Interno, assim como a capacidade de resposta das entidades envolvidas nos processos de emergência [1]. Neste simulacro de emergência, foi simulada uma explosão extemporânea junto à frente de escavação (Figura 74), com diversos feridos que seria necessário retirar, num curto espaço de tempo, da frente de escavação.



Fig.74-Simulacro no interior de túnel [31]

Contando com a participação dos Bombeiros Voluntários da Cruz Branca, de Vila Real, o simulacro permitiu constatar que os diversos intervenientes tinham o processo de atuação bem assimilado e atuaram em conformidade com o mesmo [181], verificando-se a sua aplicabilidade para o efeito previsto.

6.9. Sistemas de informação aplicados a prevenção

6.9.1. Introdução

A evolução da sociedade tem vindo a implicar períodos temporais em que se verifica uma revolução nos processos produtivos e dos paradigmas de produção. A Primeira Revolução Industrial ocorrida teve a ver com o aparecimento da mecanização em prol do trabalho manual. A segunda Revolução Industrial é relacionada com a criação da linha de produção industrializada. A terceira Revolução Industrial esteve relacionada com a automação dos processos, com a entrada dos computadores que passaram a gerir uma grande quantidade de informação, minimizando tempos de cálculo e otimizando a qualidade dos produtos.

Atualmente, a sociedade depara-se com uma nova Revolução Industrial, a quarta, desta vez relacionada com a digitalização dos processos produtivos. Aplicando novas Tecnologias de Informação e utilizando sistemas ciber-físicos inteligentes e interligados, permitirá que pessoas, máquinas, equipamentos, sistemas logísticos e produtos comuniquem e cooperem diretamente uns com os outros. Esta nova abordagem implica uma revolução no processo de partilha de dados e de cooperação entre os intervenientes no processo produtivo.

Chegamos, então, à plena Quarta Revolução Industrial, conforme ilustração criada aquando do início do projeto Indústria 4.0 (Figura 75) e que se acha suficientemente pertinente para aqui ser reproduzida.

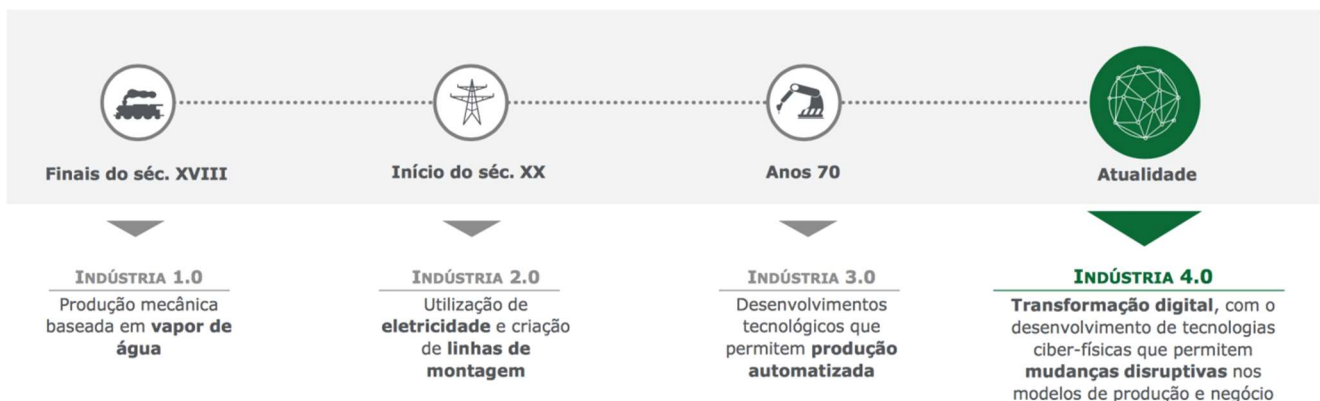


Fig.75-Histórico das Revoluções Industriais [298]

Este facto implica, ainda que não sendo o tema da investigação, mas atendendo à sua pertinência para a evolução da Engenharia, que gastemos algumas páginas a descrever as suas implicações, designadamente em termos de prevenção, tema desta investigação.

Tem-se vindo a defender que a prevenção tem vindo a ser uma área sub-valorizada, devido a vários fatores organizacionais, económicos e culturais. Adicionalmente, constata-se que os documentos (Plano de Segurança e Saúde e Compilação Técnica) habitualmente elaborados são maçudos, maçadores e de difícil leitura e

compreensão por quem tem de supervisionar a sua implementação. Quanto aos desenhos a duas dimensões, apresentam limitações de leitura e interpretação – o que, por conseguinte, torna ainda mais complexa a implementação bem-sucedida dos documentos relacionados com planeamento da prevenção, tornando a sua relevância relativa.

Urge, então, face a este panorama, tomar medidas de gestão imediatas (baseadas no princípio geral de prevenção relativo à atenção que é necessário dar ao estado de evolução da técnica), de fácil interpretação, facilmente transmissíveis a todos os intervenientes, suficientemente eficientes, e suportadas em Tecnologias de Informação de ampla aplicabilidade no setor. Refira-se desde já que a implementação de tecnologias de informação emergentes no setor da construção se encontra numa fase inicial, mas já tem alguns resultados palpáveis obtidos. Diversas tecnologias têm vindo a ser introduzidas no âmbito da automatização do processo construtivo, incluindo a realidade virtual, a realidade aumentada e as redes sem fios, entre outras.

6.9.2. O Building Information Modelling (BIM)

O BIM, metodologia agora maturada [299], é talvez o exemplo mais fulcral de novas tecnologias aplicadas ao projeto e construção de obras, e tem sido impulsionada por arquitetos, engenheiros e consultores, de modo a melhorar o desempenho no trabalho. O BIM apresenta-se como o momento de digitalização do setor da construção. Esta ferramenta permite uma modelação e representação digital e paramétrica das propriedades físicas e funcionais (geometria, relações espaciais, informações geográficas, quantidades, dados de fabricantes, etc) de um elemento construtivo.

O conceito de modelar não é novo, antes pelo contrário. Desde há muitos anos que se modela em cartão ou madeira para simular o aspeto final da construção. A diferença é que, agora, a modelação é realizada informaticamente e com informação técnica anexada a cada elemento construtivo. Lista-se abaixo uma compilação da opinião de diversos autores sobre as vantagens da utilização do BIM:

- Agiliza a modelação de elementos estruturais;
- Funciona como uma plataforma de base de dados comum para os intervenientes em obra, apoiando a partilha de informação e evitando a perda da mesma;
- Os problemas são discutidos em ambiente virtual. Deste modo, a partilha de informação deverá deixar de se fazer sob a forma de documentos formais, passando a ocorrer, na generalidade dos casos, sob a forma de um acesso direto de cada interveniente a um modelo centralizado, assegurando que todos os intervenientes tenham acesso imediato à última versão de qualquer documento associado ao empreendimento;
- Incorpora características técnicas e especificações em cada um dos elementos modelados;
- O tempo necessário para obter resultados pormenorizados é menor do que no caso manual, podendo estes ser obtidos em segundos;
- Minimiza as alterações manuais;

- Menor propensão para erro humano na modelação gráfica;
- Minimiza o risco de erros de projeto;
- Possibilita a obtenção de uma base de trabalho informatizada, evitando a perda de informação e minimizando as alterações manuais, sempre mais difíceis;
- Possibilita a utilização em obra de modelos preparados antecipadamente, em fase de projeto;
- Minimiza a necessidade de desenhos de grandes dimensões;
- Permite a produção de vistas e pormenores complexos;
- Permite a compatibilização entre elementos;
- Permite ultrapassar o limite de capacidade mental para previsão e interpretação de cenários;
- É possível o esclarecimento de dúvidas em obra, sem a utilização de muitos documentos em papel;
- Não apresenta barreiras de carácter linguístico;
- É de fácil leitura por parte de chefias intermédias com nível baixo de capacidade de leitura.

Naturalmente, uma das utilizações do BIM é em matéria de prevenção, vertente que tem vindo a ser explorada por diversos autores [300]:

- As ferramentas 3D são mais eficazes para planeamento de segurança do que desenhos estáticos 2D, dado simularem adequadamente as condições reais de trabalho [301], permitindo avaliar visualmente as condições de trabalho [301], identificar perigos, e otimizar meios de comunicar as medidas de segurança aos trabalhadores;
 - Com a partilha de informação, é possível alertar os trabalhadores para os perigos da obra de uma forma mais simples;
 - Torna-se possível a simulação antecipada de cenário de trabalho, agilizando a identificação de perigos e riscos;
 - As alterações de planeamento podem ser traduzidas, num curto espaço de tempo, em alterações em termos de segurança;
 - Torna-se mais simples a deteção de falhas/inexistência de equipamentos de proteção coletiva;
 - É possível realizar automaticamente a medição de equipamentos de proteção coletiva;
 - As questões de planeamento de produção e de segurança podem ser integradas;
 - Pode ser utilizado em ações de formação, dado que simplifica a perceção dos conteúdos a serem transmitidos.
- O autor conclui que, face à literatura analisada, o crescimento da implementação do BIM está a mudar o modo como as obras e, em particular, a segurança, podem ser encaradas, existindo já diversos relatos de benefícios para a segurança e logística das obras.

Também neste tema, o *Crossrail* inovou, criando, conjuntamente com a Bentley Systems, a *Crossrail Bentley Information Academy*, a primeira do tipo no Reino Unido, que providencia formação nesta área a todos os intervenientes no projeto, possibilitando uma otimização de conhecimentos.

6.9.3. O BIM e a prevenção

Uma das aplicações do BIM é na área da prevenção de riscos. No entanto, esta área ainda não se encontra tão evoluída como as restantes, tais como a modelação de arquitetura, estruturas ou equipamentos eletromecânicos. Ainda assim, o interesse em integrar questões de prevenção no BIM tem vindo a aumentar de ano para ano: Aguilera analisou os artigos publicados em 11 países sobre utilização de metodologias BIM aplicadas à prevenção na construção, verificando que 89% dos artigos foram publicados no período entre 2012 a 2016, com especial ênfase a partir de 2013 [302].

A maior parte dos estudos em curso concentra-se no risco de queda em altura, grande causa de acidentes mortais na construção. Ora, não sendo o risco de queda em altura um dos riscos mais presentes na obra subterrânea, urge perceber e estudar se a utilização do BIM também se revela aplicável e eficaz no planeamento de produção e de segurança em obras subterrâneas [303].

Apesar de todas estas vantagens, o BIM ainda não é de utilização corrente no âmbito da prevenção. Por exemplo, nos EUA, cerca de 70% das empresas de construção utilizam BIM, mas não o fazem na área de prevenção de acidentes [304].

Para tal, realizou-se um ensaio de modelação 3D (utilizando o *software* Autodesk REVIT) e análise de riscos, no TdM, tendo sido o estaleiro do lado Nascente modelado. O prazo estabelecido para o término da obra era limitado, pelo que o estaleiro teve necessidade de suportar diversas tarefas em simultâneo, tais como: escavação subterrânea, revestimento primário e definitivo, e infraestruturas enterradas, algo pioneiro em Portugal. Todas estas atividades mobilizaram um elevado número de equipamentos (por exemplo, camiões de transporte de escombros, autobetoneiras) que tinham de circular por um único acesso. O estaleiro modelado possuía a característica de se localizar junto a habitações e ter uma largura reduzida nas vias de acesso, facto que tornava a circulação de veículos e pessoas mais complexa aumentando o risco de atropelamento.

Através da visualização 3D (Figura 76), foi desde logo possível confirmar a geometria no terreno, o posicionamento de instalações sociais e de produção e identificar a existência de locais de elevado risco de atropelamento [303].



Fig.76-Modelação de estaleiro Nascente [305]

Esta constatação alertou para a necessidade de separação de vias pedonais e rodoviárias e respetivas delimitação e sinalização [303] (Figura 77).



Fig.77-Separação vias de circulação [303]

Outro dos perigos identificados foi a impossibilidade de passagem de equipamentos e pessoas no mesmo troço, obrigando a diferenciação de níveis de passagem de cada um [303] (Figura 78).



Fig.78-Separação aérea de vias de circulação [303]

Este teste corresponde a uma primeira abordagem da integração do BIM como ferramenta de apoio ao planeamento de segurança em obras subterrâneas em Portugal, essencial nomeadamente na identificação de riscos, e permitiu concluir que a implementação desta metodologia traz várias vantagens, entre as quais [303]: a disposição de instalações em estaleiro torna-se mais simples; a visualização do estaleiro torna-se mais expedita e perceptível; as situações de risco podem ser antecipadas; a verificação de compatibilidade entre tarefas é agilizada; a transmissão de informação sobre riscos é melhorada; o planeamento é mais ágil; e as atualizações de projeto são mais simples de realizar. Estas constatações justificam plenamente estudos futuros mais aprofundados.

Outro exemplo de utilização de tecnologias 3D, a outro patamar, foi encontrado pelo autor no seu estágio na NLE. Nesta obra, o autor verificou que o BIM era utilizado como ferramenta corrente, decorrente do cariz de obrigatoriedade em Inglaterra. Foi-lhe possível observar a potencialidade do BIM no planeamento da prevenção, designadamente em termos de planeamento de estaleiro utilizando a visualização em modo 3D. A Figura 79 exemplifica o modo de visualização do estaleiro de construção da estação de “*Battersea Power Station*” que permite observar o posicionamento e interferência de elementos como as vedações, entradas e saídas de estaleiro, instalações de apoio, locais de armazenamento, etc.



Fig.79-Vizualização de estaleiro em 3D [277]

No entanto, a nível nacional verifica-se que os DO e as EE ainda não estão dispostos a dispendir honorários superiores para obter um produto final modelado com base em BIM.

Em termos de potencialidades, verifica-se que o BIM tem vindo a ser abordado em quatro vertentes: Planeamento de segurança, formação e informação, investigação de acidentes, prevenção em fase de manutenção. O autor propõe uma nova divisão, que poderá ser o ponto de partida para futuros estudos sobre a utilidade de BIM no âmbito de prevenção. Esta nova divisão visa separar o planeamento de segurança nas fases de projeto e de obra. Indica-se abaixo a divisão proposta:

- 1) Prevenção em fase de projeto: potenciando a identificação de situações com potencial para ocorrerem AT; por ex., através de algoritmos [306], permite ao projetista ter uma melhor visualização das fases de construção e respetivos riscos e, assim, tomar, desde essa altura, medidas preventivas [303]; os cadernos de encargos ficam mais claros e os pressupostos para concurso mais reais. Saliente-se que o facto de haver estudos que mostram que *“cerca de 60% dos acidentes podem ser evitados antes das obras começarem leva a concluir que é nesta fase pré-obra que se deve concentrar o uso de ferramentas BIM para garantir medidas preventivas eficazes”* [306];
- 2) Formação e informação: a utilização de uma visualização 3D, em imagem ou vídeo, melhora a compreensão das instruções de trabalho através da simulação destas, fornecendo ambientes realísticos de obras [306] e, ao mesmo tempo, torna mais facilmente visíveis as situações de risco. Ao mesmo tempo, pode-se exemplificar situações de risco sem que o próprio trabalhador seja colocado em situações perigosas e, adicionalmente, explicar ao vivo as medidas preventivas a tomar.
- 3) Gestão de estaleiro: o planeamento de estaleiro é um dos componentes essenciais dos documentos relacionados com segurança e saúde. A abordagem com BIM apresenta potencial de melhoria de representação virtual de estaleiro [306], designadamente a visualização de vedações, entradas e saídas, vias de circulação, melhor localização e disposição de instalações sociais e de produção, e respetivos caminhos de circulação e interferência com vias rodoviárias.
- 4) Gestão de proteções coletivas: com o BIM, é simplificada a tarefa de identificação (eventualmente automática, através de algoritmos) de zonas de risco e respetivo planeamento de montagem de guarda-corpos, redes sinalizadoras ou barreiras.

- 5) Gestão de movimentação mecânica de cargas: gestão de movimentação mecânica de cargas, distâncias e perímetros de segurança, por ex., de guias-torre e outras infraestruturas.
- 6) Inspeções a estaleiro: a visualização do previsto nos planos de segurança para cada frente de trabalho e a confrontação com o executado permite aos responsáveis pelo controlo da execução encontrar não-conformidades em tempo real [306]. A este tipo de atividade pode associar-se a utilização de dispositivos móveis ou drones para a visualização [306].
- 7) Investigação de acidentes de trabalho: permitem recriar as condições em que o evento ocorreu;
- 8) Planeamento de emergência: plano de entrada e saída dos trabalhadores; plano de trajeto a ser executado pelos veículos de emergência e dos locais de abrigo para os trabalhadores [301]; localização de equipamentos de combate a incêndio e vias de evacuação.
- 9) Prevenção em fase de manutenção: do mesmo modo que o planeamento em fase de obra, pode ser realizada a visualização de trabalhos com risco especial.

Verificando a potencialidade deste tipo de instrumentos de apoio a planeamento da segurança, o autor criou um conceito, que intitulou "*BIMSafety*" [303].

Do mesmo modo que, em termos produtivos, é integrada parametrização sobre características técnicas de elementos, o *BIMSafety* indexa a esses elementos informação de carácter preventivo [303]. Esta informação consiste na indicação sobre riscos associados a construção ou instalação do elemento ou equipamento, bem como as medidas preventivas a implementar para a minimização de riscos. Esta indicação permitirá que se realize a identificação antecipada e num novo formato, em fase de projeto, dos riscos e perigos associados à construção da obra e à sua exploração, e que esta informação possa ser transposta para o formato dos documentos de prevenção: Plano de Segurança e Saúde (designadamente no planeamento de estaleiro, de proteções coletivas e de movimentação de cargas) e Compilação Técnica (designadamente no planeamento de trabalhos em altura) [303]. Durante a investigação, os autores, com o apoio de duas alunas do Mestrado Integrado de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, criaram as bases, teórica e prática, que sustentam o conceito e o seu modo de aplicação (estratégias de modelação e processos de comunicação entre intervenientes em fase de Projeto; testes de modelação utilizando *software* específico, etc.). A experiência foi realizada no âmbito de obras de reabilitação de edifícios, mas pretende-se que, a curto prazo, seja realizada no âmbito de obras subterrâneas. Aquando do final desta investigação, o conceito estava estabelecido - tendo sido divulgado em eventos técnico-científicos em Portugal, no Chipre e no Brasil - e o primeiro teste a implementação em Plano de Segurança e Saúde e Compilação Técnica já realizado. Deste primeiro teste pode-se desde já salientar que foram obtidas as seguintes conclusões:

- A adoção do novo formato nos Planos Específicos estudados, permitindo uma visualização em três dimensões e de informação escrita paramétrica para cada elemento construtivo, é vista como vantajosa, comparativamente com o modelo tradicional, otimizando o planeamento da prevenção, nomeadamente ao nível da simulação, visualização e compreensão (ao longo de todos os trabalhos) das condições reais de trabalho, identificação e

antecipação de riscos e planeamento de medidas preventivas; O novo modo de visualização revela bastante utilidade como instrumento de apoio a ações de formação e aparenta possibilitar uma melhor integração entre a produção e a prevenção;

- O estudo e o desenvolvimento do *BIMSafety* poderá revolucionar a elaboração dos Planos de Segurança e Saúde e das Compilações Técnicas, originando uma mudança de paradigma, dotando-os de uma capacidade de digitalização de conteúdos, implicando uma discussão dos problemas em ambiente virtual, e com um grande potencial para prevenir a ocorrência de acidentes de trabalho.

6.10. Resposta à questão de investigação

Questão de investigação nº4

“Quais os requisitos que devem ser garantidos, qualquer que seja o método escolhido?”.

Resposta à questão de investigação nº 4

Para responder a esta questão, irão ser listados, de uma forma sumária, os requisitos a garantir:

- O Dono de Obra como facilitador da prevenção; como pivot, fio condutor, decisor e estipulador de nível de tolerância;**
- A transmissão de legado como meio de não repetir erros;**
- A integração de prevenção em fases precoces de projeto;**
- O projetista como facilitador da prevenção;**
- A liderança como integradora da segurança na produção;**
- Aproximação entre líderes e trabalhadores como meio de ultrapassar barreiras de comunicação;**
- Uma comunicação aberta e colaborativa como meio de discutir soluções;**
- A segurança comportamental como meio de influenciar atitudes;**
- O estudo de quase acidentes para prevenção de acidentes de trabalho;**
- Competência suficiente e experiência prévia em obras similares;**
- Formação adequada aproveitando novas tecnologias de informação;**
- O bem estar do trabalhador começa acima do solo;**
- A gestão da saúde no mesmo patamar que a gestão da segurança;**
- Infra-estruturas adequadas e alteráveis consoante a evolução dos trabalhos ;**
- Planeamento de eventos de emergência, interna e externamente;**
- O BIM como impulsionador de uma mudança de paradigma na prevenção.**

7. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

7.1. Enquadramento do capítulo

Este capítulo pretende dar cumprimento ao objetivo nº 6, “**Definir o(s) método(s) de análise mais adequado(s) para uma análise de riscos a obras subterrâneas**”, previsto no capítulo de introdução.

7.2. Introdução

Sabendo que cada um dos métodos apresenta particularidades que influenciam os níveis de risco em que se desenvolverão as frentes de trabalho [57], levando a que existam riscos diferentes consoante o método, este estudo pretende, do modo mais coeso possível, englobar todas as fases da gestão de riscos, considerando os vários passos necessários: identificação de riscos (já realizada aquando da apresentação do processo de gestão de riscos), avaliação e hierarquização de riscos e determinação de medidas preventivas.

Para tal, foi realizada uma comparação direta, considerando exclusivamente o critério “Segurança e saúde” [9], entre os dois principais métodos de escavação subterrânea, de modo a perceber qual deles apresenta menores níveis de risco e de fatores ocupacionais. Dado ser este um estudo iminente comparativo, não serão considerados, para efeitos da comparação que irá ser realizada, os riscos que apenas se apliquem a um dos métodos em estudo: detonação extemporânea/projeção de blocos, inalação de gases provenientes de detonação de explosivos (os dois relativos ao MEC), exposição a ambientes pressurizados (relativo a MET).

Assim, optou-se pelas seguintes abordagens:

Riscos para a segurança e saúde – realização de uma análise de riscos de segurança e saúde para os trabalhadores, tendo em conta um método pré-definido (eletrização/eletrocussão; inalação de gases provenientes de equipamentos a gásóleo; inalação de gases provenientes de incêndio; inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado; contacto com produtos químicos; rutura de equipamentos ou acessórios; queda de blocos/torrões de betão projetado; colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos; queda em altura e ao mesmo nível; problemas musculoesqueléticos; atropelamento; e contacto com agentes biológicos).

Fatores ocupacionais (ruído, temperaturas extremas/radiações, vibração e stresse) – Não é realizada uma avaliação de riscos direta, pelos seguintes motivos: não é correto realizar uma avaliação por um método de “*Control Banding*” de um parâmetro que é perfeitamente mensurável e cujos limites estão legislados. Adicionalmente não foi possível, apesar dos diversos esforços, obter um levantamento de informação com base em dados de empreitadas similares, onde se pudessem comparar os fatores ocupacionais nos dois métodos. Mais se refere que não existem obras em Portugal onde pudesse ser realizado um levantamento, comparativo entre os dois métodos, de medições dos fatores ocupacionais identificados. Assim, é apresentada uma análise da percepção da propensão para a ocorrência dos factores ocupacionais identificados.

7.3. Fontes de informação

O ideal para um estudo deste tipo seria poder associar a “probabilidade” à frequência de AT ocorridos ou DP verificadas, bem como associar a “Consequência” ao número de dias perdidos e ao impacto em termos do doente. Mas tal não é possível, pela já referida inexistência, a nível nacional [307], de dados fiáveis. Assim, terá de se encontrar outros dados que garantam a fiabilidade do estudo, já que este é um dos elementos-chave que determinam a adequabilidade do processo de gestão de riscos [99].

Face a este panorama, verificou-se que um dos caminhos a seguir poderia ser a realização de um inquérito a um painel de especialistas. Considerando que a gestão de riscos exige muita experiência, o critério de os especialistas possuírem experiência não pode ser subestimado em estudos que pretendam orientar as tendências [74], especialmente em estudos como este, de prática e conhecimento teórico [69]. Ao mesmo tempo, no entanto, o risco de subjetividade de opiniões deve ser minimizado. Para tal, um dos objetivos delineados desde o início foi este inquérito ser respondido por uma equipa multidisciplinar, envolvendo diversos tipos de pessoas, com competência e experiências próprias relevantes [308]. Optou-se, assim, para levantamento de informação, pelo formato de inquérito a um painel de especialistas na área, de diversos quadrantes e diferentes experiências quanto à escolha de método de escavação.

Os critérios estipulados para a seleção de inquiridos foram:

1) terem uma ligação profissional à área das OS, tanto na função de promoção, projeto, construção, fiscalização de obra, investigação ou docência como na vertente mais ligada à produção, ou na vertente mais ligada a áreas como a prevenção;

2) terem um mínimo de 5 anos de experiência em obras subterrâneas.

O objetivo deste inquérito foi aferir, através de utilização do referido painel de especialistas para uma avaliação formal, as respostas às questões colocadas para investigação, ou seja, da Q5 à Q19, de modo a poder obter conclusões sobre a análise comparativa entre os dois métodos.

Para aferição da adequação do inquérito, foi realizado um inquérito piloto a dois técnicos, um com 20 anos de experiência na área técnica (de modo a aferir a validade técnica do inquérito), outro com também 20 anos de experiência na área científica (para aferir a validade científica). Tendo sido identificados alguns pontos fracos, quer do ponto de vista técnico, quer do ponto de vista científico, foram realizadas algumas pequenas alterações à estrutura do inquérito inicialmente prevista.

7.4. Métodos de análise

A escolha correta do método de análise de AT e DP é deveras importante [93] e tem de levar em consideração a informação que se pretende obter. As metodologias adotadas pretendem ser o mais ajustadas à realidade e rigorosas possível, de modo a poder melhorar a capacidade de implementação de medidas preventivas [26]. Quanto melhor for o nosso conhecimento sobre a ocorrência, melhor será o nosso poder de tomar decisões e

melhor será o conhecimento do risco e a capacidade de o prever e o eliminar, ao passo que uma informação deficiente aumenta a probabilidade de se tomarem decisões erradas.

A legislação não estipula regras, em termos metodológicos, sobre a forma como a avaliação de riscos (AR) é realizada. Diversas metodologias de avaliação de risco, referenciadas em vários estudos e documentos científicos, são utilizadas de forma variável nas diversas indústrias [93]. A diversidade de procedimentos para avaliação de riscos é tamanha que existem métodos para qualquer circunstância, e a escolha, citando Marhavillas [309], “*has become more a matter of taste*”.

Pese embora a variedade de métodos, o tipo de metodologia de avaliação de riscos a adotar deve:

- Levar em conta o objetivo da avaliação, os destinatários, o nível de detalhe pretendido, os recursos humanos e técnicos disponíveis, o tempo disponível e a natureza e complexidade dos perigos;
- Ser adequada, eficiente e tão detalhada que possibilite uma correta identificação, avaliação e hierarquização dos riscos e conseqüente controlo dos mesmos [82];
- Permitir uma classificação de riscos de fácil compreensão [37];
- Ser passível de evolução contínua [37].

Embora a maior parte das ferramentas de avaliação de riscos tenha sido desenvolvida para atividades que não a indústria da tunelagem, a maioria pode ser utilizada em OS sem ajustamentos de relevo [69]. Assim, não colocaremos limitações à utilização dos métodos tradicionalmente utilizados. Aliás, por tudo o que já aqui foi referido, percebe-se que o método de análise que devemos usar num determinado caso nem sempre terá de ser o mais avançado; terá, isso sim, de ser o mais adequado para resolver o problema em questão [105].

Os métodos de análise podem ser divididos em três grandes grupos, com base na natureza dos resultados deles esperados: os métodos qualitativos (MAQal), os métodos quantitativos (MAQt) [88], e os métodos híbridos ou semi-quantitativos (MASqt) [65].

Seguidamente procede-se a uma abordagem pormenorizada de cada um deles.

a) Métodos Qualitativos (MAQal)

Estes métodos, utilizados para abordagens simples, baseiam-se numa avaliação puramente qualitativa e relativa do risco (muito improvável, possível, provável e frequente) e da gravidade do dano (alta, moderada e baixa), sem que exista uma identificação exata das conseqüências ou um registo numérico associado. A aplicação de métodos qualitativos tem por base o histórico dos dados estatísticos de cada risco profissional (estatística da sinistralidade da empresa, relatórios de acidentes e incidentes, estatística da sinistralidade do setor de atividade, etc.) ou a opinião de pessoas experientes, dos trabalhadores e dos seus representantes, quanto ao esperado relativamente a determinado risco profissional.

Geralmente, com os MAQal recorre-se a uma avaliação de cenários individuais, estimando os diferentes riscos, com base na resposta a questões do tipo “O que acontecerá se...?” [82].

Os métodos qualitativos são adequados para avaliações em que os perigos possam ser identificados pela simples observação e comparados com os princípios de boas práticas existentes para circunstâncias idênticas

[86], pelo que uma avaliação de riscos pode começar por uma avaliação qualitativa e ser posteriormente complementada com outro tipo de métodos.

b) Métodos Quantitativos (MAQt)

São métodos que visam obter uma resposta objetiva e numérica da magnitude do risco, pelo que o cálculo da probabilidade faz recurso a técnicas sofisticadas de cálculo, que integram dados sobre o comportamento das variáveis em análise. Estes métodos revelam-se mais complexos do que os métodos qualitativos, permitindo obter resultados numéricos, pois a probabilidade e a gravidade dos danos são determinadas através de dados estatísticos ou outros dados numéricos.

Os métodos quantitativos são úteis quando há a necessidade de aprofundar o estudo, para justificar o custo ou a dificuldade na adoção de algumas soluções preventivas. Os resultados apresentam-se como objetivos e concretos, facilitando a avaliação da eficácia das medidas de correção propostas. Este tipo de métodos é bastante utilizado em casos de riscos elevados e complexos, tais como na indústria química ou nuclear [86].

c) Métodos Semi-quantitativos (MASqt)

Quando a avaliação realizada pelos métodos qualitativos se torna insuficiente para alcançar uma adequada valoração de risco e, em contrapartida, a complexidade subjacente aos métodos quantitativos e o consequente custo associado à sua aplicação não são justificados na situação concreta em análise, é possível o recurso a métodos semi-quantitativos [82]. Neste tipo de métodos, a expressão numérica para a magnitude do risco (R) pode ser obtida por recurso a métodos simplificados, que utilizam escalas pré-estabelecidas de hierarquização, por ex., da Probabilidade (P) e da Gravidade (G). O resultado final apresenta-se sob a forma de matriz ou lista. Os valores a atribuir às variáveis são provenientes da experiência, de dados genéricos e de questionários com respostas numericamente ponderadas, ou são resultantes de análises numéricas.

Na Tabela 27, listam-se as vantagens e desvantagens (tal como identificadas na literatura) de cada tipo de metodologia de avaliação:

Tab.28-Vantagens/desvantagens de métodos de avaliação de riscos (adaptado de Carvalho [82])

Tipo de método	Vantagens	Desvantagens
MAQal	Generalistas, menos restritivos Para avaliações simples Não exigem grandes níveis de qualificação do avaliador Não requerem quantificação nem cálculos Não requerem identificação exata das consequências	Intrinsecamente subjetivos Não apresentam resultados numéricos Dependem da experiência, assertividade e coerência do avaliador Não permitem análise de custo/benefício
MAQt	Objetivos Resultados mensuráveis Permitem controlo após reavaliação de riscos Permitem efetuar análise de custo/benefício	Complexos, onerosos e de cálculos morosos Incluem fortes elementos arbitrários Necessitam de base de dados fiável e representativa Resultados influenciados pela fiabilidade e precisão dos dados de entrada Revelam dificuldade na valoração quantitativa do peso da falha humana
MASqt	Aplicação simples e fácil compreensão Identificam as prioridades de intervenção através da identificação dos principais riscos A classificação em categorias facilita a uniformização da valoração dos riscos, que se traduz em maior objetividade na interpretação Substituem perfeitamente os métodos quantitativos	Subjetividade associada a descritores Fortemente dependentes de experiência de avaliadores Não balizam convenientemente os intervalos entre níveis Referem-se a situações difíceis de estimar Limitações de estabilidade e reprodutibilidade

Desde o início desta investigação que se verificou que os MAQt não eram passíveis de serem utilizados, dado não existirem dados disponíveis para trabalhar quantitativamente [92], o que impossibilita a utilização deste tipo de avaliação [310]. Restam, assim, os MAQal e os MASqt.

7.5. Método adotado para avaliação de riscos

Tendo em conta que os MAQal não apresentam resultados numéricos, e uma vez que os MASqt são de utilização comum [82], permitem medir as consequências, e o seu uso para priorizar e orientar a alocação de recursos tem sido recomendado a nível nacional e internacional [82], optou-se pela avaliação de riscos usando um método semi-quantitativo.

Diversos autores têm vindo a defender que as interpretações e conclusões retiradas só podem ser confiáveis após o estabelecimento da sua fiabilidade. A questão da fiabilidade é, assumidamente, um dos pontos fracos dos MASqt [86], podendo condicionar os resultados obtidos. Diversos ensaios e teses têm vindo a ser realizados para aferir a fiabilidade deste tipo de método, sendo que as áreas de atuação têm sido diversas (produção de *airbags*, atividades de manutenção, indústria extrativa) e os resultados também. Ora, a fiabilidade é uma das principais características dos métodos para poderem ser úteis [311], o que justifica plenamente uma reflexão mais aprofundada sobre a temática da fiabilidade.

A fiabilidade é a medida em que os dados passam a ser confiáveis, em vez de representarem fenómenos espúrios [312]. A importância da fiabilidade repousa na garantia de que os dados são obtidos independentemente do instrumento, do avaliador e da altura da avaliação [311]; ou seja, os resultados mantêm-se constantes, ainda que se façam variações no processo de medição [82].

Existem três tipos de fiabilidade: a estabilidade, a reprodutibilidade e a precisão [86]. A estabilidade diz respeito à inalterabilidade do processo ao longo do tempo, garantindo que a avaliação mantém os mesmos resultados

independentemente da altura em que o avaliador realiza a avaliação. Ou seja, é o tipo de fiabilidade avaliada aquando das análises intra-analistas, sendo o indicador mais fraco entre os três indicadores existentes, dado que apenas tem em consideração as consistências do avaliador [82]. Considera-se que existe estabilidade quando o mesmo avaliador realiza avaliações, utilizando o mesmo método para a mesma situação, consistentes entre si, em momentos diferentes. A variação da perceção do risco de pessoa para pessoa (devido aos diferentes pontos de vista e entendimento sobre os componentes do risco, consoante, por ex., a sua experiência [89]), é um dado adquirido: algo que alguns podem ver como apresentando muito risco, outros podem ver com tendo um risco moderado [273]. O risco assume, assim, um carácter subjetivo. A reprodutibilidade, um indicador mais fiável do que a estabilidade [82], diz respeito à inalterabilidade do processo mediante avaliadores diferentes [86]. Ou seja, é o tipo de fiabilidade avaliada aquando de análises inter-analistas [82], garantindo que a avaliação mantém os mesmos resultados, independentemente do avaliador que a realiza e tendo em conta diferentes erros de julgamento, manipulações e experiências profissionais ou curriculares [82]. A reprodutibilidade é considerada a medida mais viável (por ser mais fácil de colocar em prática) e mais forte da avaliação da fiabilidade [82]. A precisão diz respeito ao grau com que um determinado processo, realizado sob condições de teste-padrão, está de acordo com as suas especificações e produz aquilo para que foi projetado [82].

A maior parte dos estudos relativos a fiabilidade concentra-se nos procedimentos gerais para avaliação de riscos, sendo poucos os estudos que tentam perceber a fiabilidade dos resultados ou que comparam metodologias, designadamente os métodos em que são utilizadas as matrizes [313]. Saliem-se os estudos de comparações entre diversos MASQt, já realizados por diversos autores, em que se verifica que: diferentes riscos podem ser avaliados de modo diferente, consoante o método em utilização; existe a necessidade de escolha cuidada do método; e é urgente aprofundar o conhecimento científico neste tema, com o objetivo de promover a fiabilidade das AR realizadas.

A reprodutibilidade e a estabilidade revelam-se como os tipos de fiabilidade mais importantes para esta investigação pelo que apenas estas serão focadas.

A fase seguinte foi a escolha do método semi-quantitativo a utilizar.

Na Tabela 29, apresenta-se uma tabela descritiva dos principais métodos semi-quantitativos existentes [313].

Tab.29-Métodos de avaliação semi-quantitativos [313]

• Método	Principais características
Método de matriz simples Somerville	É um método que recorre ao uso de uma matriz de análise de riscos, composta por duas escalas de três níveis, para caracterizar a Gravidade (G) e a Probabilidade (P); Integra uma escala de Índice de risco para definir a prioridade de intervenção, igualmente com 3 níveis.
Método de matriz simples (3X3)	É um método que recorre ao uso de uma matriz em tudo semelhante à referida anteriormente (3X3), simplesmente os descritores das escalas (G e P) assumem designações diferentes e a escala de Índice de risco apresenta 5 níveis para definir a prioridade de intervenção.
Método de matriz simples CRAM	É um método que, à semelhança dos anteriores, recorre a uma matriz que integra, para cada uma das variáveis em estudo (G e P), uma escala de 4 níveis. Já no que se refere à escala de Índice de risco, para definir a prioridade de intervenção, recorre a uma escala composta por 3 níveis.
Método de matriz simples (4X4)	É um método que recorre ao uso de uma matriz com as mesmas características da anterior, já que também recorre a duas escalas de 4 níveis, para caracterizar as variáveis G e P. No entanto, para além dos descritores assumirem designações diferentes, a escala de Índice de risco integra mais dois níveis, ou seja, apresenta um total de 5 níveis de prioridade de intervenção.
Método de matriz simples (5X4)	É um método que recorre ao uso de uma matriz, composta por duas escalas de níveis diferentes. Assim, para caracterizar a Frequência (F) (ou nível de Probabilidade de ocorrência dos eventos) é utilizada uma escala de 5 níveis, para caracterizar a Severidade (S) (também entendida como consequência ou Gravidade) é utilizada uma escala de 4 níveis. A escala de Índice de risco integra 4 níveis de prioridade de intervenção.
Método de matriz composta-P	É um método que recorre ao uso de uma matriz mais completa, já que integra mais duas variáveis (para além da Frequência (F) e da Severidade (S)), sendo elas: os procedimentos e condições de segurança adotados (Ps) e o nº de pessoas afetadas (N). Assim, cada uma das 4 variáveis (F, S, Ps e N) é analisada com recurso a uma escala de 5 níveis. O produto da classificação das 4 variáveis dá a Magnitude do risco. A escala varia entre 1 (muito mau) e 625 (muito bom). Integra uma escala de Índice de risco com 5 níveis de prioridade de intervenção.
Método de matriz composta-CM	É um método que, à semelhança do anterior, integra o conhecimento de 4 variáveis (Nível de exposição (NE), Nível de deficiência (ND), Nível de probabilidade (NP) e Nível de Severidade (NS)). Cada uma destas variáveis recorre a uma escala de 3 níveis. Neste método são utilizadas 2 matrizes de 3X3, que associam as variáveis duas a duas (NE X ND e NP X NS). A escala de Índice de risco integra 3 níveis de prioridade de intervenção.
Método de matriz composta NTP 330	É um método em tudo semelhante ao anterior, já que requer o conhecimento de 4 variáveis, agora designadas por Nível de exposição (NE), Nível de deficiência (ND), Nível de probabilidade (NP) e Nível de consequência (NC). Cada uma destas variáveis recorre, no entanto, a uma escala de 4 níveis. Neste método, são igualmente utilizadas 2 matrizes, de dimensões diferentes da anterior (4X4), as quais associam as variáveis duas a duas (NE X ND e NP X NC). A escala de Índice de risco integra, agora, 4 níveis de prioridade de intervenção.
Método de matriz composta DGEMN	Método idêntico ao anterior, que recorre ao conhecimento de 4 variáveis, agora designadas por Nível de exposição (NE), Nível dos procedimentos de segurança (NPS), Nível de Probabilidade (NP) e Nível de Gravidade (NG). Cada uma destas variáveis recorre a uma escala de 4 níveis. Neste método são igualmente utilizadas 2 matrizes de dimensão (4X4), as quais associam as variáveis duas a duas (NE X NPS e NP X NC). A escala de Índice de risco integra, também, 4 níveis de prioridade de intervenção.
Método de William T. Fine (WTF)	É um método de Avaliação de Risco que recorre ao conhecimento de 3 variáveis, aqui designadas por Fator consequência (Fc), Fator Exposição (Fe) e Fator Probabilidade (Fp). Cada uma das 3 variáveis (Fc, Fe e Fp) é analisada com recurso a uma escala de 6 níveis. O produto da classificação das 3 variáveis dá a Magnitude do risco ou GP (grau de perigosidade). A escala varia entre 0,05 (situação ótima) e 10000 (situação péssima). Integra uma escala de Índice de risco com 5 níveis de prioridade de intervenção.
Método Integrado de Avaliação de Riscos (MIAR)	É um método de Avaliação de Risco que recorre ao conhecimento de 5 variáveis, aqui designadas por Fator Gravidade, Fator Extensão, Fator Exposição, Fator Desempenho dos sistemas de prevenção e Fator Custos. Cada uma das 5 variáveis é analisada com recurso a uma escala de 3, 4 ou 5 níveis. O produto da classificação das 5 variáveis dá ao Índice de Risco a Magnitude do risco ou GP (grau de perigosidade). A escala varia, em 4 níveis, entre 1 (situação ótima) e 1800 (situação péssima). Integra uma escala de Índice de risco com 5 níveis de prioridade de intervenção.

Uma vez que este tipo de métodos é baseado maioritariamente em matrizes, cumpre tecer alguns comentários sobre estas. As matrizes são utilizadas há várias décadas, sendo que a sua utilização frequente remonta às décadas de 1950-1960, no processo de corrida ao armamento, que provocou um largo número de sistemas de gestão, designadamente na área militar. Em 1962, foi criado um sistema para desenvolver mísseis e, em 1969,

foram criados os requisitos do programa Military Standard Mil-STD-882, que introduziu ferramentas de análise de perigos, tendo sugerido matrizes para caracterizar impactos de perigos, no que se refere a probabilidade e consequências.

Uma matriz de classificação de risco eficaz deve ter as seguintes características:

- ser de aplicação simples e objetiva e de fácil compreensão;
- ter claramente definidos os níveis de risco toleráveis e intoleráveis;
- mostrar como cenários que estão num nível de risco intolerável podem ser atenuados para um nível de risco admissível na matriz;
- fornecer orientações claras sobre o que é necessário para mitigar os cenários com níveis de risco intoleráveis;
- tomar em conta a exposição ao risco.

As limitações já descritas, face às vantagens que o sistema de matrizes apresenta, indicam que as matrizes de risco devem ser utilizadas com alguma precaução e apenas com uma cuidada explicação dos julgamentos subjacentes [82]. O modo como a matriz de riscos é usada vai ter um grande impacto nos locais e procedimentos de trabalho [311].

Matrizes simples: são as que fazem uso de duas variáveis para caracterizar a Magnitude do risco e onde a determinação do nível das escalas e das variáveis em jogo é da responsabilidade do analista.

Matrizes compostas: são as que fazem uso de três ou mais variáveis para caracterizar a Magnitude do risco e onde a determinação do nível das escalas das variáveis em jogo nem sempre é da responsabilidade do analista, podendo resultar da combinação prévia de outras das variáveis envolvidas, como é o caso do Nível de Probabilidade.

Para se escolher conscientemente uma estratégia, é necessário conhecer as suas limitações [99], para assim poder determinar o modo de as tentar ultrapassar. Na Tabela 30, indicam-se os diversos métodos MASqt e as razões para a exclusão:

Tab.30-Motivos para a exclusão de métodos MASQt

Método	Comentário para exclusão
MMS Somerville	Apenas usa duas variáveis (não contabilizando o fator exposição), o que se revela insuficiente para o estudo Apenas considera três níveis de risco
MMS 3X3	Apenas usa duas variáveis (não contabilizando o fator exposição), o que se revela insuficiente para o estudo
MMS CRAM	Apenas usa duas variáveis (não contabilizando o fator exposição), o que se revela insuficiente para o estudo Apenas considera três níveis de risco
MMS 4x4	Apenas usa duas variáveis (não contabilizando o fator exposição), o que se revela insuficiente para o estudo
MMS 5x4	Apenas usa duas variáveis (não contabilizando o fator exposição), o que se revela insuficiente para o estudo
MMCP	Inclui a variável “Procedimentos e condições de segurança adotadas”, que não se enquadra no estudo, dado as condições do local de trabalho ainda não serem conhecidas e ser difícil pré-estipular um nível de condições de segurança adotadas
MMP-CM	Inclui variável “Nível de deficiência”, que não se enquadra no estudo, dado as condições do local de trabalho ainda não serem conhecidas e ser difícil pré-estipular um nível de deficiência. Apenas considera três níveis de risco
MMC NTP 330	Inclui variável “Nível de deficiência”, que não se enquadra no estudo, dado as condições do local de trabalho ainda não serem conhecidas e ser difícil pré-estipular um nível de deficiência.
MMC DGMEN	Inclui variável “Nível de procedimentos de segurança”, que não se enquadra no estudo, dado as condições do local de trabalho ainda não serem conhecidas e ser difícil pré-estipular um nível de condições de segurança adotadas.
WTF	--
MIAR	Inclui variável “Desempenho dos sistemas de prevenção e controlo” que não se enquadra no estudo, dado as condições do local de trabalho não serem conhecidas e ser difícil pré-estipular um nível de desempenho do sistemas de prevenção e controlo adotado.

Sendo a AR realizada tendo em conta diversas variáveis, ou seja, realizada a partir da análise subjetiva de cada uma das variáveis, importa que estas estejam o mais claramente definidas, de modo a não dar azo a interpretações díspares e de modo a dar credibilidade às variáveis de *input*.

Quanto às escalas dos índices de risco, saliente-se que a utilização de uma escala de Índice de Risco de 3 níveis tem a desvantagem de poder gerar os Laços de Risco. Ou seja, diferentes “riscos *versus* consequências”, quando avaliados com este tipo de métodos, podem acabar por partilhar o mesmo Nível de Risco, fazendo com que o resultado da AR dificulte a diferenciação dos riscos em termos da sua criticidade e, conseqüentemente, dificultando a hierarquização das prioridades de intervenção [82]. Assim, optou-se por utilizar métodos com mais níveis na escala de Índice de Risco. Refira-se ainda que a ITA recomenda que a avaliação de risco se realize em 5 níveis de magnitude de risco [69]. Para o grupo de métodos com escala de Índice de risco de 5 níveis, não tem vindo a ser possível evidenciar com a mesma solidez qual o método que se revela mais potente, do ponto de vista da proteção que confere ao trabalhador [86], conclusão que permite alguma maleabilidade na escolha efetiva do método.

Assim, o método considerado mais adequado para a realização deste estudo foi o Método de William T. Fine. Esta escolha sustenta-se nas seguintes características do método:

- É um dos métodos mais comuns para atingir os objetivos recorrendo a especialistas [314];**
- O nível de risco é totalmente dependente do julgamento, baseado na experiência e conhecimento, realizado pelos inquiridos [315];**
- Está bastante ligado a avaliações de risco operacionais;**
- Tem três variáveis de introdução – Consequências (C) de um potencial acidente, o fator de exposição (E), o fator de probabilidade (P), e diversos níveis das respetivas valorizações;**
- Tem 5 níveis de índice de risco conforme recomendado pela ITA;**
- Apresenta uma pormenorização elevada quanto às variáveis a analisar;**
- Permite uma seriação de riscos expedita;**
- O fator subjetividade pode ser reduzido a níveis mínimos;**
- Permite uma hierarquização bastante objetiva.**

Apresenta-se de seguida um breve enquadramento histórico do método de William T. Fine (WTF). O WTF foi criado há mais de 35 anos [87] por William T. Fine, então chefe do Departamento de Segurança do *Naval Ordnance Laboratory* (NOL) [315], tendo sido divulgado num artigo intitulado "*Mathematical Evaluations for Controlling Hazards*", cujo objetivo era fornecer uma avaliação matemática para controlo de perigos [87]. Na sua conceção original, a criação do método serviu dois objetivos: obter um método para determinar a gravidade de perigos, de modo a estabelecer prioridades das intervenções preventivas, e estabelecer um método que forneça uma determinação de informação sobre se um custo de uma medida corretiva é justificável [87]. Em 1976, Kinney, também do *Naval Weapons Center*, renomeou-o e reviu-o posteriormente como "*Practical Risk Analysis for Safety Management*", utilizando-o para o estudo de efeitos de explosivos [100]. Na introdução a este relatório, Kinney salienta a importância de a avaliação de risco ser baseada em julgamentos sustentados e não em subjetividade ou intuição.

O método WTF tem sido objeto de várias traduções e adaptações [86]. Para a realização deste estudo, a versão escolhida foi a descrita por Cabral e Veiga [316], por se tratar de uma versão credível, atual e considerada acessível [86].

Uma das diferenças encontradas entre o original do WTF e a evolução de Kinney reside na escala do Índice de Risco, que apresenta 5 níveis, ao contrário dos 3 originais de WTF, cumprindo assim o pressuposto recomendado pela ITA [69] e anteriormente referido.

Analogamente a outros métodos, o método WTF considera uma classificação das consequências em termos de danos pessoais e materiais. Tendo em conta o âmbito deste trabalho, foram apenas considerados os danos pessoais.

Este método calcula o nível de risco através da conjugação de três fatores (Exposição, Consequência e Probabilidade) e possibilita ainda obter uma justificação económica para as ações corretivas possíveis. Tendo

presentes os objetivos do nosso estudo, a determinação das variáveis Justificação das medidas a implementar (J), Fator custo (fc) e Grau de correção (gc) não foi contemplada.

Salvaguarda-se o facto de o método WTF ainda não estar plenamente validado, nem quanto a questões de fiabilidade nem de reprodutibilidade, o que poderia levantar, numa situação normal, problemas a este estudo. Ou seja, os riscos poderiam ser avaliados com níveis bastante diferentes dependendo da sensibilidade do avaliador. No entanto, isso não deverá acontecer, dado que o único objetivo pretendido é estabelecer um grau comparativo entre os níveis de riscos totais dos dois métodos. Assim, o verdadeiro suporte da avaliação comparada dos riscos entre os dois métodos de abertura de túneis será o painel, não o método de avaliação.

7.6. Método para a análise da percepção de fatores ocupacionais

Embora o autor esteja plenamente ciente da importância do estudo das DP nas obras subterrâneas, nomeadamente com vista a procurar minimizar a sua ocorrência, a presente investigação, tendo como base a área de Engenharia e não de Medicina, não aborda este tema em profundidade. No entanto, não se poderia considerar uma análise completa do tema da segurança e saúde em túneis, se não abordasse, embora superficialmente, a questão dos fatores ocupacionais que têm o potencial de gerar DP.

Assim, e uma vez que se pretendia apenas uma opinião sobre a percepção para a propensão para a ocorrência dos fatores ocupacionais, optou-se por aplicar um inquérito com uma abordagem qualitativa ao mesmo painel de especialistas utilizados para a avaliação de riscos. Os resultados desta avaliação de percepção serão apresentados no capítulo 8, a seguir aos resultados da avaliação de riscos. A respetiva discussão será realizada no capítulo 9, também a seguir à discussão de resultados de avaliação de riscos. Neste inquérito, fizeram-se perguntas diretas aos inquiridos sobre a sua percepção, para cada um dos fatores ocupacionais identificados, quanto ao método de escavação que apresenta maior propensão para a ocorrência destes fatores ocupacionais. O facto de o painel não ser de profissionais ligados à área da saúde é uma potencial limitação, mas essa lacuna é colmatada à partida pelo facto de apenas ser questionada a percepção sobre o nível de propensão para ocorrência dos fatores ocupacionais.

7.7. Inquérito

7.7.1. Principais desafios

Os principais desafios encontrados aquando da idealização deste inquérito foram os seguintes:

- O questionário deveria ser o mais curto possível, para maximizar as hipóteses de ser respondido na sua totalidade;
- O questionário não deveria incluir quaisquer questões irrelevantes, insensíveis, ou intrusivas;
- Os riscos e as tarefas consideradas deveriam ser em número suficientemente reduzido, mas mantendo-se relevantes;

- Deveriam ser consideradas diversas fases de trabalho, para abranger as especificidades de cada uma. No entanto, não poderia ocorrer uma subdivisão exagerada;
- Os cenários alternativos a estabelecer deveriam criar condições de análise para diversos condicionalismos que, tradicionalmente, ocorrem neste tipo de obras;
- O número de parâmetros a avaliar deveria ser limitado, para evitar erros por cansaço do inquirido.

7.7.2. Fases de trabalho

Em termos de atividades, e de modo a poder melhor caracterizar cada uma delas, as tarefas associadas a esta componente das obras subterrâneas foram agrupadas em 3 grandes grupos: **Fase 1 (1F) - Escavação/remoção de escombros** – compreende a escavação, por meios mecânicos (roçadora, escavadora ou tuneladora) e a remoção de escombros por equipamentos móveis; **Fase 2 (2F) - Revestimento primário** – compreende a aplicação de camada inicial de betão projetado e montagem de dispositivos de estabilização, tais como pregagens, *swellex*, ancoragens, enfilagens e cambotas; **Fase 3 (3F) - Revestimento final** – compreende a aplicação de sistemas de impermeabilização, montagem de armaduras e cofragem, betonagem e descofragem de revestimento final, no caso do MEC, e montagem de aduelas pré-fabricadas, no caso do MET.

Foi considerado que, no MEC: não utilizaria explosivos, que contemplaria a montagem de tela de impermeabilização, armaduras e betonagem com molde, e que a remoção de escombros seria realizada com camiões ou *dumpers*. No caso do MET, foi considerado que: não seriam realizados trabalhos em pressão; não contemplaria membrana de impermeabilização e sim a montagem de aduelas pré-fabricadas; que a remoção seria com vagões, e que a secção não teria rebaixo. Foi ainda considerada a não existência de simultaneidade de execução de tarefas.

7.7.3. Medidas preventivas base

Para a adequada realização do inquérito, foi necessário fornecer aos inquiridos informação sobre as MP já implementadas aquando da avaliação de riscos, uma vez que essas medidas interferem na magnitude do risco [86].

7.7.3.1. Legislação/normalização/documentação existente

Tendo em conta a inexistência, em Portugal e à data do início desta investigação, de legislação, normalização e guias de boas práticas relativa a obras subterrâneas que permita enunciar um conjunto de requisitos mínimos a serem garantidos, o autor, enquanto Coordenador do Grupo de Trabalho “Segurança e Saúde” da CPT, considerou o momento como bastante oportuno para tomar a iniciativa de preparar e liderar a elaboração de uma proposta de Guia de Boas Práticas, que colmatasse a lacuna atual e a partir do qual pudesse ser

selecionado um conjunto de medidas preventivas, que funcionariam como requisitos mínimos, para a avaliação de riscos.

Para a elaboração desta proposta de documento, foram tidos em conta diversos documentos legislativos e normativos de diversos países, bem como documentos já preparados por diversas instituições, designadamente: *British Standard 6164 – Code of practice for health and safety in tunnelling*; Norma Regulamentadora 22–Segurança e Saúde na Mineração; *Guía para la prevención de riesgos laborales en la ejecución de túneles–OSALAN*; *Australia Code of Practice of Tunnelling*; *Minex Industry Code of Practice Underground Mining and Tunnelling–Nova Zelândia*; *Manual Segurança no Trabalho em Túneis–ITA*; *Guidelines for good occupational health and safety practice in tunnel construction–ITA*. As recomendações constantes nestes documentos foram analisadas, triadas e adaptadas, tendo em conta a realidade e o panorama técnico-empresarial português. Para a articulação de opiniões e elaboração deste documento, foram realizadas diversas reuniões do Grupo de Trabalho no Porto e em Lisboa.

A proposta de guia técnico será oportunamente lançada pela Comissão Portuguesa de Túneis.

7.7.3.2. Medidas preventivas base para inquérito

A partir da proposta de Guia de Boas Práticas, o autor preparou uma listagem de MP que considerou serem os requisitos mínimos a constar de um Plano de Segurança e Saúde (Medidas Preventivas Base – MPB), incluindo as MP comuns e as MP específicas para cada risco, passando estas a ser consideradas como ponto de partida para a AR. Na Tabela 31, apresenta-se a lista de Medidas Preventivas Base (MPB) apresentadas aos inquiridos. Realce-se que esta denominação foi atribuída por serem as Medidas Preventivas que foram consideradas como requisitos mínimos para os trabalhos serem desenvolvidos.

Tab.31-Medidas preventivas base (MPB) estipuladas

Geral
<ul style="list-style-type: none">• Todos os trabalhadores reúnem capacidade física, médica e psicológica, possuem as competências necessárias, foram alvo de ação de formação de acolhimento e específica relativa a riscos e têm uma alimentação e hidratação compatíveis com a natureza do trabalho.• A Entidade Executante apresenta uma postura colaborativa e proativa.• Existe um controlo registado de entradas e saídas de pessoas do subterrâneo.• Todos os locais de trabalho e acessos encontram-se com um nível tolerável de limpeza, organização e iluminação.• Todas as infraestruturas encontram-se minimamente protegidas contra ações mecânicas, químicas ou físicas.• Os sistemas de iluminação e de ventilação encontram-se adequados aos trabalhos.• Existe uma equipa de manutenção para reparação imediata de danos ou avarias em infraestruturas.• As intervenções em infraestruturas têm autorização superior, após bloqueio dos órgãos de comando da infraestrutura.• Transporte de escombros por equipamentos móveis (<i>dumpers</i> ou locomotiva).• Todos os equipamentos de trabalho a utilizar são específicos para trabalhos subterrâneos, são operados e mantidos em conformidade com as normas técnicas e as instruções dos fabricantes, e são alvo de verificação antes do início dos respetivos trabalhos.• Nos locais de trabalho, existe acesso a: água potável; instalações sanitárias; equipamento de primeiros socorros.• As entidades empregadoras promovem a despistagem de consumo de bebidas alcoólicas e substâncias psicotrópicas.• EPI – capacete, botas, óculos e luvas de proteção, vestuário refletor. Em caso de ruído > VLE proteção auricular.
Eletrização/eletrocussão
<ul style="list-style-type: none">• As instalações elétricas utilizadas são adequadas para ambiente subterrâneo.• Trabalhos de montagem, manutenção, reparação e desmontagem de rede elétrica realizados apenas por eletricistas qualificados.

-
- As instalações foram projetadas e executadas, e são operadas e mantidas, de forma a permitir a correta proteção contra sobrecargas, fugas de corrente, curtos-circuitos e choques elétricos.
 - O sistema está concebido de modo a prevenir a ligação de equipamentos de forma inadvertida.
 - Os quadros elétricos têm, no seu invólucro, um esquema explicativo das respetivas ligações.
 - Os trabalhos são realizados de modo a garantir o cumprimento de distâncias mínimas de segurança a equipamentos ou cabos em tensão.
 - Toda a rede elétrica é alvo de verificações e testes periódicos.
 - No manuseamento de instalações ativas, são usadas luvas de proteção dielétricas.
-

Gases provenientes de motores diesel

- Os equipamentos móveis são movidos a diesel.
 - Não existe acumulação excessiva de combustíveis em subterrâneo.
 - As medições das concentrações de substâncias químicas são efetuadas regularmente, designadamente no início de cada fase de trabalhos e aquando de alterações a condições de atmosfera interior.
 - É realizada monitorização de temperatura e humidade.
 - Os detetores fixos de gases encontram-se localizados em todos os equipamentos, em zonas próximas a alimentação de máquinas (motores e transformadores) e junto à frente de escavação.
-

Exposição a produtos químicos

- As fichas de dados de segurança de cada produto encontram-se disponíveis para consulta.
 - Apenas é deslocada para subterrâneo a quantidade de produtos químicos imprescindível para utilização diária.
 - Os produtos são mantidos nas embalagens de origem.
 - São tomadas medidas para evitar derramamentos ou projeções de produtos químicos.
 - É evitada a presença de pessoas junto de zonas de concentração de névoa de produtos químicos.
 - São utilizados aceleradores de presa não-alcálinos.
 - Os tanques de mistura de caldas de cimento encontram-se posicionados de modo a que a nuvem de poeiras, originada durante o despejamento de sacos de cimento para a máquina, não atinja os trabalhadores.
 - É utilizado o equipamento de proteção individual mais adequado ao produto químico em questão.
 - Os trabalhadores que manuseiem produtos químicos deverão, após o final do manuseio, trocar de roupa.
-

Inalação de gases provenientes de incêndio

- É reduzida a quantidade de tarefas em subterrâneo que produzam riscos de incêndio.
 - Os trabalhos que acarretem risco de incêndio são realizados em zonas bem ventiladas.
 - Não é permitido fumar ou foguear, nem trabalhos com chamas nuas; existem zonas específicas para fumadores; os trabalhos a quente são realizados em zonas afastadas de combustíveis e sob alçada de autorizações de trabalho.
 - Existe um serviço próprio de prevenção e extinção de incêndios, com equipas treinadas e equipamento adequado.
 - Todos os equipamentos/materiais sujeitos a aquecimento são construídos com materiais resistentes a fogo.
 - Todos os equipamentos móveis possuem equipamentos de extinção no local, no mínimo manual.
 - Os fluidos hidráulicos em tuneladoras e outros equipamentos são de baixa inflamabilidade.
 - Os locais de armazenamento têm uma localização que permita, em caso de incêndio, a evacuação rápida de gases para o exterior.
 - As quantidades de materiais inflamáveis armazenados no espaço subterrâneo são as indispensáveis para o uso normal corrente e estes encontram-se devidamente armazenados, separados por tipo, selados e etiquetados.
 - As luminárias utilizadas em zonas de armazenamento não atuam como fontes de ignição devido a calor produzido.
 - Os sistemas de proteção, ativa e passiva (sinalizados) cobrem todos os sistemas mecânicos, hidráulicos e elétricos e são alvo de manutenção.
-

Inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado

- Os equipamentos utilizados não geram uma elevada concentração de poeiras.
 - Os equipamentos possuem meios próprios para humedificação das ferramentas de corte / furação / picagem.
 - Os postos de trabalho enclausurados ou isolados possuem sistemas que permitam a manutenção das condições de conforto e que possibilitem trabalhar com o sistema hermeticamente fechado.
 - Os depósitos de escombros, as superfícies de máquinas e equipamentos, as instalações de transporte e os pisos das vias de circulação de veículos e pessoas são periodicamente humedificados/limpos, de forma a impedir a dispersão de poeiras.
 - O meio de ventilação utilizado é insuflação para frente de escavação.
 - É realizada monitorização periódica de poeiras, em locais fulcrais, quer junto a frente de escavação quer em zonas mais afastadas.
 - O número e localização de ventiladores são geridos de modo a reduzir ao máximo a acumulação de poeiras.
 - O modo de aplicação de betão projetado é por via húmida.
 - O operador de robô de projeção de betão, bem como todos aqueles que se encontrem nas proximidades da frente de escavação (incluindo condutores de autobetonieras) utilizam proteção de vias respiratórias e visuais.
-

Rutura

- Os recipientes, tubagens e respetivas uniões e outros acessórios:
 - São construídos com material adequado;
 - Encontram-se em perfeito estado de conservação;
 - Resistem às pressões de serviço previstas;
-

-
- Estão minimamente protegidos contra choques, ações químicas, térmicas e da água;
 - Possuem uma sinalização própria;
 - São dotados de dispositivo auxiliar, que garanta a contenção da mangueira, evitando seu ricochete, em caso de desprendimento acidental;
 - Possuem válvulas de corte a uma distância máxima de 200m e em interseções;
 - Possuem válvulas de purga;
 - Estão devidamente suportados nos hasteais ou outros apoios.
- As válvulas de corte encontram-se sinalizadas de modo visível.
 - As uniões apenas são desengatadas quando o ar comprimido estiver desligado e a pressão reduzida a zero.
 - O sistema de ar comprimido é alvo de verificação e inspeções periódicas.
-

Queda de blocos/torrões de betão projetado

- O Dono de Obra incluiu nas peças de concurso as condições de referência do maciço.
 - A avaliação de risco geológico e geotécnico teve em conta as condições topográficas, geotécnicas, geológicas e hidrológicas do terreno; mecanismos de falha mais prováveis; localização e influência de estruturas e infraestruturas existentes.
 - A Entidade Executante cumpre escrupulosamente o projeto, no que se refere a técnicas, equipamentos e materiais, e adota os procedimentos técnicos adequados, de modo a controlar a estabilidade do maciço.
 - Nas mudanças de turno, e de modo à informação relevante ser transmitida entre as chefias das equipas, são promovidas reuniões para transmissão do ponto de situação dos trabalhos.
 - Os dispositivos de estabilização apenas são montados em zonas onde exista proteção contra queda de blocos.
 - A operação de projeção de betão é o mais mecânica possível.
 - As zonas onde existe o risco de queda de torrões de betão projetado encontram-se sinalizadas; no entanto, não existem zonas de exclusão que impeçam o trabalhador de aceder à zona de face de escavação.
 - A Entidade Executante dispõe de sistema de evacuação e drenagem de água adequado ao caudal que possa afluir ao túnel e as águas vindas da superfície ou infiltradas são captadas, de forma a evitar a sua queda livre em poços.
 - O maciço rochoso é alvo de inspeções periódicas, de modo a detetar o aparecimento de manchas de humidade.
-

Colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos

- Após a montagem de estrutura temporária, esta é verificada por pessoa competente.
 - A altura máxima permitida para passagem de equipamentos por baixo de estruturas provisórias é materializada através de sinalização de gabaritos.
 - Todas as vias de circulação rodoviária em acessos a emboquilhamentos encontram-se iluminadas, demarcadas e sinalizadas.
 - O pavimento tem capacidade portante para o estacionamento e movimentações de equipamentos de elevação de cargas.
 - A largura mínima das vias de trânsito deve ser ajustada aos veículos a suportar.
 - As aberturas em pavimento, designadamente junto a rebaixos e poços de bombagem, encontram-se delimitadas e sinalizadas com material refletor.
 - Os equipamentos de trabalho que ofereçam risco de tombamento, de capotamento, de rutura de peças ou projeção de materiais, peças ou partes destas, possuem dispositivo de proteção ao operador.
-

Queda ao mesmo nível/em altura

- Todas as vias, escadas, patamares, equipamentos de trabalho e instalações destinadas à circulação e transporte de trabalhadores encontram-se conservados e limpos.
 - Privilegia-se a pré-montagem ao nível do solo.
 - Todos os locais de trabalho, bem como os respetivos acessos (sejam planos ou inclinados), encontram-se sinalizados, limpos e possuem guarda-corpos.
 - Privilegia-se a utilização de meios mecânicos elevatórios para trabalhos em altura, evitando-se movimentos bruscos.
 - Os acessos entre unidades de tuneladora permitem uma passagem fácil, sem o trabalhador ter de entrar em zonas de risco, como a zona de descarga de segmentos ou a zona de montagem de aduelas, por exemplo.
 - Os andaimes móveis, atendendo à irregularidade do pavimento, não são permitidos.
 - As escadas de mão apenas poderão ser utilizadas para trabalhos pontuais e de curta duração.
 - Todos os trabalhos nos quais não seja possível garantir proteção coletiva, ou esta se revele insuficiente, são executados com arnés de segurança.
 - É evitada a utilização, em condições de fraca visibilidade, de vias de evacuação com desníveis.
 - O arnés de segurança é fixo a ponto estável, quer através de linha de vida quer através de pontos isolados.
-

Problemas musculoesqueléticos

- É garantida a limpeza, organização e remoção de resíduos e de obstáculos dos locais de trabalho e respetivos acessos.
 - Todas as cargas a movimentar possuem pontos de elevação específicos.
 - Encontra-se delimitado o perímetro de segurança na zona de movimentação de cargas ou de risco de queda de materiais.
 - Os equipamentos que possuam risco de projeção de materiais ou objetos encontram-se devidamente protegidos.
 - Nas operações de manutenção ou reparação em que exista manuseamento de peças que podem ser colocadas em movimento, o manobrador/motorista está em perfeita sintonia com o trabalhador.
 - Cumprem-se os limites de carga estabelecidos para cada equipamento (e acessórios) de movimentação de cargas.
 - Os cabos, correntes e outros meios de suspensão ou tração são os adequados, sendo vistoriados periodicamente.
 - Os acessórios de elevação não são retirados antes de solidarização de dispositivos de estabilização.
-

-
- Os equipamentos estão dotados de proteção contra contactos com partes móveis e proteção contra queda de objetos.
 - O operador de montagem de aduelas tem vista livre para toda a zona de operação, designadamente para os braços de carga; se não houver vista livre, o uso de meios auxiliares pode ser necessário.
 - Todas as superfícies quentes encontram-se protegidas.
-

Atropelamento

- O transporte de trabalhadores apenas é realizado em veículo adequado para transporte de pessoas.
 - Todas as composições sobre carris possuem um número máximo de unidades que permita a imobilização no espaço e tempo pretendidos; cabines integrais, para minimizar danos no caso de choque com qualquer estrutura; travões por intervenção mecânica direta ou automática; dispositivo de acoplamento principal e um secundário de segurança.
 - As operações de acoplagem e desacoplagem são supervisionadas e realizadas em local adequado.
 - É proibida a movimentação manual de vagões, salvo em operações de manobra.
 - Todas as vias de circulação encontram-se niveladas, compactadas e livres de obstáculos.
 - Não se realizam inversões de marcha, salvo em zonas específicas para esse efeito.
 - As vias de circulação de equipamentos encontram-se separadas por rede sinalizadora das vias de circulação pedonal.
 - As zonas onde é mais provável o atropelamento encontram-se identificadas e sinalizadas.
 - A operação de equipamentos móveis só será permitida a trabalhador qualificado, autorizado e identificado.
 - Encontra-se instalada sinalização de limite de velocidade.
 - As atividades de manutenção e reparação de via são realizadas sob alçada de autorização de trabalho.
-

Contacto com agentes biológicos

- É utilizado vestuário de proteção e proteção respiratória.
 - É mantida a higiene pessoal mínima.
 - A temperatura de circuitos de água é controlada periodicamente.
 - São evitados locais com estagnação de água.
 - Os sistemas de reserva e filtragem de água, de tratamento de ar, de torres de refrigeração e de aquecedores são periodicamente verificados.
-

Ruído

- Os equipamentos utilizados têm o menor nível de ruído na fonte.
 - É reduzida a quantidade de tarefas em subterrâneo que produzam níveis de ruído elevados.
 - Os trabalhos que acarretem risco de ruído elevado são realizados em zonas definidas.
-

Vibrações

- Os equipamentos utilizados têm o menor nível de emissão de vibrações na fonte.
 - É reduzida a quantidade de tarefas em subterrâneo que produzam níveis de vibração elevados.
-

Temperaturas extremas/radiações

- Os trabalhadores possuem locais para beber água
 - É utilizado vestuário de trabalho completo
 - São utilizados sistemas convencionais a laser para medições e monitorizações de maço
-

Exposição a situações de stresse físico e psicológico

- Não existe o risco de situações diretas de assédio físico ou psicológico.
 - Existe alguma pressão para realização atempada de trabalhos.
-

Para economia de espaço e facilidade de leitura, as nomenclaturas dos riscos serão abreviadas. Optou-se por adotar abreviaturas com quatro letras para aumentar a facilidade de compreensão, dado que algumas das abreviaturas ficariam menos compreensíveis se fossem de apenas três letras (por ex., POE, ATR). Irão ser usadas as seguintes abreviaturas:

Eletrização/eletrocussão - "ELEC"; Inalação de gases provenientes de motores diesel - "DIES"; Inalação de gases provenientes de incêndio - "INCN"; Inalação de poeiras provenientes de maço rochoso/betão projetado - "POEI"; Contacto com produtos químicos - "QUIM"; Rutura de equipamentos ou acessórios - "RUTR"; Queda de blocos/torrões de betão projetado - "BLOC"; Colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos - "CLPS"; Queda ao mesmo nível/em altura - "QUED"; Problemas musculoesqueléticos "PMES"; Atropelamento - "ATRP"; Contacto com substâncias biológicas - "BIOL".

Para os fatores ocupacionais, serão usadas as seguintes abreviaturas: Ruído - "RUID"; Vibrações - "VIBR"; Temperaturas extremas/radiações - "TEMP"; Stresse - "STRS".

7.7.4. Cenários

7.7.4.1. Cenários impostos

A avaliação de risco foi realizada tendo em conta um cenário inicial, que se pode considerar como o ideal, num modelo de construção de túnel com o comprimento de 3500m (comprimento em que os dois métodos são técnica e financeiramente de aplicação viável), em meio rural montanhoso, em maciço são, seco e escavável com martelo ou tuneladora sem escudo, e considerando que não existe simultaneidade de tarefas: ou seja, não existem condicionalismos internos ou externos relevantes.

Numa segunda análise, e de modo a aferir qual o impacto de realização da obra em cenários diferentes do estabelecido inicialmente, são propostos cenários alternativos. Refira-se que, para este tipo de investigação, apenas interessa analisar cenários associados a consequências negativas [317]. Assim, os cenários alternativos considerados foram:

Cenário 1 - Maciço instável e com afluência de água, maciço heterogéneo, com descontinuidades relevantes, com afloramentos de rocha pouco dura, com diversos pontos de afluência de água e com escorrência posterior para zonas de trabalhos ao longo de galerias.

Cenário 2 - Realização simultânea de escavação e de revestimento final, a uma distância de 1000m.

Cenário 3 - Utilização de explosivos, como meio de desmonte, por trabalhadores habilitados e cumprindo o DL 162/90.

7.7.4.2. Cenário 1

O cenário 1 (C1) estipulado consistiu em considerar o maciço instável e com afluência de água: heterogéneo, com descontinuidades relevantes, com afloramentos de rocha pouco dura, com diversos pontos de afluência de água, com escorrência posterior para zonas de trabalhos ao longo de galerias.

Um maciço deste tipo pode ter como consequências:

- 1 – Derrocada: este fenómeno caracteriza-se pela entrada de largo volume de rocha no túnel (Figura 80).



Fig.80-Derrocada junto a face de escavação [277]

Os colapsos ou deformações excessivas no revestimento primário ou definitivo são uma das causas principais de acidentes em túneis [37], ocorrendo maioritariamente por condições geológicas desfavoráveis [36]. A sua ocorrência pode chegar à superfície, sob a forma de deformações excessivas [94] ou mesmo pela formação de crateras, com o respetivo elevado risco e impacto financeiro, logístico e de reputação [19].

2) *Rockburst*. Este fenómeno de quebra de rocha frágil [36] é difícil de prever [318] e tem como origem estados de tensão de maciço muito elevada [36], geralmente a grandes profundidades [318]. É caracterizado por uma descompressão violenta do maciço, com consequentes danos no revestimento primário e posterior projeção de blocos, o que é um perigo pela velocidade a que acontece e pelas formas afiadas dos blocos [36]. Pode ter consequências materiais e também provocar danos físicos, ou mesmo a morte, aos trabalhadores nas proximidades [160]. É um fenómeno dependente de tensões, que aumentam com a profundidade [36]. A sua ocorrência é mais problemática em túneis com profundidades superiores a 1000m e, em condições similares, a ocorrência é mais provável no MET, com danos materiais e humanos que podem ser bastante relevantes [36]. Barton relata diversos túneis com profundidades superiores a 2km [223]. Em alguns casos, este fenómeno dá indícios, pelos sons que são ouvidos antes do *rockburst* em si, e que devem servir de alerta para os trabalhadores, sendo que estes devem ter as competências necessárias para os interpretar. Além disso, também têm de os conseguir ouvir.

3) A afluência de água, de forma lenta ou rápida, líquida ou sob a forma de lamas, pode ser provocada por água existente no maciço (de mais provável ocorrência no MET, dado a tuneladora escavar a profundidades e pressões maiores [36]), entrada de água por furos incorretamente selados [108], entrada de água pela superfície (chuvas, barragens, etc.) e entrada de água por trabalhos antigos [310]. No caso de afluência brusca, provoca risco de inundação e afogamento [129] e de aprisionamento de trabalhadores [108]. Pode também ser um elemento fragilizador do maciço (Figura 81), sendo que a probabilidade de problemas geotécnicos é, neste caso, superior à existente em terrenos secos [129].



Fig.81-Afluência de água a frente de escavação [310]

Este tipo de situações pode ser bastante problemático em pontos sem drenagem direta, tais como secções a cotas mais baixas, sifões e secções inclinadas (Figura 82), em que uma inundação pode enlamear bombas.



Fig.82-Acesso a estrutura de montagem de impermeabilização bloqueado [31]

Se a inundação for através de um poço, as pessoas podem ficar sem via de evacuação [108] (Figura 83).



Fig.83-Afluência de água em emboquilhamentos [319]

Também associada ao tipo de maciço poderia estar a ocorrência de metano, situação excluída deste estudo por derivar de uma questão de foro geológico e geotécnico. O metano é proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos. É típico em falhas geológicas, ou extratos com hidrocarbonetos, em zonas por baixo de lagos ou águas paradas, se estiver sob estrato impermeável, em lixeiras e aterros, e em tubagens de saneamento ou gás [108]. Pode aparecer dissolvido na água (podendo assim viajar longas distâncias em cursos de água, através de fissuras ou rochas porosas), em forma de infiltração constante, em emissão pesada ou afluxo repentino, quando uma bolsada de gás é penetrada. É mais leve do que o ar, por isso acumula-se em zonas altas, como a abóbada, podendo subir as galerias se a inclinação for ascendente (criando riscos em zonas afastadas do seu ponto de surgimento no túnel), ou formando grandes camadas se não for remexido. É potencialmente explosivo [127], não tóxico, mas asfixiante.

7.7.4.3. Cenário 2

O cenário 2 (C2) estipulado consistiu em realização simultânea de escavação e de revestimento final, a uma distância de 1000m.

A simultaneidade de trabalhos é uma necessidade muitas vezes induzida pela necessidade de cumprimento de um prazo ou para recuperar atrasos. A duração de uma obra, por sua vez, é um fator-chave para o processo de decisão durante o planeamento e projeto de um túnel [320]. Os atrasos e sobrecustos são um dos maiores problemas com que o setor da construção se depara. Logo, acabar a obra dentro dos parâmetros de tempo, custo e qualidade estipulados tem vindo a ganhar importância. Assim, realizar os trabalhos simultaneamente tem vindo a ser uma das soluções adotadas para minorar os referidos atrasos e sobrecustos. Esta opção de planeamento vai contra a perspectiva antiga de que o planeamento teria de ser suficientemente adequado para os trabalhos serem realizados faseadamente.

O impacto de um atraso numa obra, que é um problema a nível mundial [321], tem várias repercussões, nomeadamente:

- Ao nível macro: efeitos no crescimento da economia nacional, perdas financeiras relevantes;
- Trabalho realizado com lacunas de qualidade, devido a pressa ou stresse [321].
- Perda da sua justificação económica, que pode levar a desistência do projeto;
- Aumento de custos [321];
- Queixas, disputas, litigação [321];
- Implicações no planeamento de tarefas, designadamente no estabelecimento, se necessário, de um novo caminho crítico. Isto pode levar a que algumas tarefas sejam marcadas para realização simultânea, por ser tecnicamente viável, havendo, no entanto, incompatibilidade em termos de segurança e saúde, o que dá lugar a locais de trabalho inseguros e propícios a ocorrências de AT [84], tendo também implicações nos próprios trabalhadores, que ficam mais nervosos [179].

Atualmente, a evolução tecnológica tem vindo a tornar possível realizar várias fases da construção simultaneamente, o que aumenta os riscos associados a atividades [120].

7.7.4.4. Cenário 3

O cenário 3 (C3) estipulado, exclusivo do MEC, consistiu em prever a utilização de explosivos, como meio de desmonte (Figura 84), por trabalhadores habilitados e cumprindo o DL 162/90:

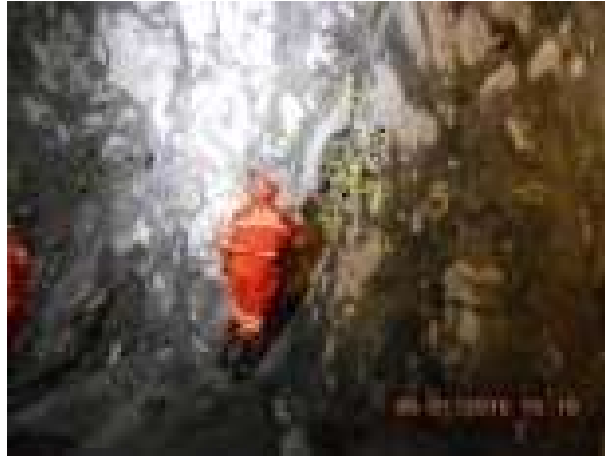


Fig.84-Montagem de pega de fogo [31]

O MEC tem vindo a ser utilizado há décadas, sendo que, no início, o explosivo usado era a pólvora. Com o decorrer dos anos, a área dos explosivos tem assistido a grandes progressos em termos de materiais e equipamentos utilizados, com o objetivo de otimizar rendimentos e eficácia, garantir melhores condições de estabilidade para transporte e manuseamento, e uma baixa emissão de gases tóxicos. Os riscos associados a explosivos encontram-se diretamente ligados ao tipo de explosivo e detonadores a utilizar.

7.7.5. Medidas preventivas estado da arte

Um dos objetivos nesta fase foi estipular um conjunto de medidas preventivas adicionais que tivessem o potencial de minimizar os níveis de risco não toleráveis.

A metodologia para análise destas medidas teve como suporte:

- As características dos riscos, aferidas na revisão bibliográfica realizada;
- Os resultados da avaliação de riscos e propensão para fatores ocupacionais realizada, bem como as causas de ocorrência de AT e DP;
- Um levantamento de informação, realizado no TdM, no *Crossrail* e no NLE.

O autor escolheu, para cada um dos riscos identificados e tendo em conta a sua experiência profissional e o conhecimento das condições técnicas do mercado português, medidas preventivas que se consideram ser as mais evoluídas e adequadas. Por considerar serem as mais evoluídas e já com implementação aferida em obra, intitulou-as “Medidas preventivas estado da arte” (MPEA). As medidas preventivas escolhidas cumpriram os seguintes requisitos:

- Carácter inovador em termos nacionais: dado que as melhores práticas e inovações científicas ou tecnológicas disponíveis constituem um dos fatores de sucesso para uma gestão de riscos eficaz;
- Viabilidade de aplicação já testada em termos internacionais: o processo evolutivo de desenvolvimento da construção envolve, muitas vezes, o equilíbrio entre o risco comercial de novas formas de construção e a segurança da adoção de métodos comprovados [322];

- Grande parte das MPEA foram aferidas pelo autor presencialmente em obra, facto que lhe permitiu conhecer as dificuldades e limitações na sua aplicação.

As MPEA propostas foram as indicadas na Tabela 32.

Tab.32-Lista de medidas preventivas estado da arte

RISCO	MPEA
ELEC	Pessoa competente designada para intervenções em rede elétrica
DIES	Combustíveis de locomoção alternativos
DIES	<i>Scrubbers</i>
QUIM	Guia de classificação de produtos químicos
INCN	Vigilante de fogo
INCN	Barreiras de água ao longo do túnel
POEI	Equipamento para purificação de ar (<i>deduster</i>)
POEI	Cabine fechada em robô de projeção
RUTR	Equipamento para medição de espessura de tubagens
RUTR	Proteção adicional a tubagens
BLOC	<i>Lasershell</i>
BLOC	Zonas de exclusão
CLPS	Verificação periódica de estruturas temporárias de montagem de revestimentos definitivos
CLPS	Proteção de bordadura de taludes
QUED	Aplicação de impermeabilização com <i>sprays</i>
QUED	Utilização de pisos antiderrapantes
PMES	Mecanização total da aplicação de dispositivos de estabilização
PMES	Sinalização de movimentação de cargas
ATRP	Dispositivo de deteção de pessoas
ATRP	Utilização de plataformas suspensas
BIOL	Reforço de hábitos de higiene pessoal
RUID	Equipamentos <i>Bluetooth</i>
RUID	Refúgios de ruído
VIBR	Betonagem de soleira de pavimentos
VIBR	Medidor de pulso
TEMP	Zonas de refúgio
STRS	Gestão de fadiga

7.7.6. Parâmetros de análise

7.7.6.1. Avaliação de riscos

Detalham-se, nas Tabelas 34, 35 e 36, os valores atribuídos a cada possibilidade de resposta a variáveis.

Exposição (E) – é classificada a frequência com que se produz uma situação capaz de desencadear um acidente durante a atividade realizada. O valor atribuído ao fator E é indicado na Tabela 33.

Tab.33-Valores de fator Exposição (adaptado de Cabral [316])

FATOR EXPOSIÇÃO (E)	VALOR
Contínua – muitas vezes por dia	10
Frequente – aprox. 1x/dia	6
Ocasional – entre 1x p/ semana e 1x/mês	3
Irregular – entre 1x/mês e 1x/ano	2
Raro – sabe-se que ocorre, mas com baixíssima frequência	1
Pouco provável – Não se sabe se ocorre, mas é possível que ocorra	0,5

Atendendo à periodicidade de exposição, foi realizado um pequeno ajuste de valores quanto às respostas “Ocasional” (a que foi atribuído o valor de 3 em vez de 5) e Irregular (a que foi atribuído o valor de 2 em vez de 4).

Probabilidade (P) – define a possibilidade de ocorrência completa de um evento perigoso, com ou sem dano. O valor atribuído ao fator P é indicado na Tabela 34.

Tab.34-Valores de fator Probabilidade (adaptado de Cabral [316])

FATOR PROBABILIDADE (P)	VALOR
Muito provável – resultado mais provável se a situação de risco acontecer	10
Possível – muito possível que ocorra	6
Raro – acidente com incidência rara	3
Repetição improvável – já aconteceu, mas é difícil que se repita	1
Nunca aconteceu – incidência extremamente remota	0,5
Praticamente impossível–nunca aconteceu, em muitos anos de exposição	0,1

Consequências (C) – analisam-se os resultados mais prováveis que a suposta materialização do risco estudado teria. O valor atribuído ao fator C é indicado na Tabela 35.

Tab.35-Valores de fator Consequência (adaptado de Cabral [316])

FATOR CONSEQUÊNCIA (C)	VALOR
Catástrofe – muitas vítimas mortais	100
Várias mortes	50
Morte - acidente mortal	25
Ferimento grave / Incapacidade permanente	15
Incapacidade temporária	5
Lesões ligeiras	1

O valor da magnitude do risco é calculado pela expressão: Magnitude do Risco = E x P x C, sendo que a esta Magnitude do Risco será representada doravante pelo **Índice de magnitude de risco “Nr”**. A sua escala de medição varia entre 0,05 (situação ótima) e 10.000 (situação péssima). Conhecendo o valor de Nr, identificamos qual a classificação do nível de intervenção necessário. Na Tabela 36, indicam-se os valores de Nr, a sua respetiva classificação e prioridade de intervenção [100].

Tab.36-Magnitude, classificação de risco e tipo de intervenção (adaptado de Cabral [316])

MAGNITUDE DO RISCO (Nr)	CLASSIFICAÇÃO DO RISCO	PRIORIDADE DE INTERVENÇÃO
Maior que 400	Iminente	Suspensão imediata da atividade perigosa
Entre 200 e 400	Alto	Correção imediata
Entre 70 e 200	Notável	Correção necessária urgente
Entre 20 e 70	Moderado	Não é urgente, mas deve corrigir-se
Menor que 20	Ótimo/aceitável	Pode omitir-se a correção

O valor total de Nr, englobando as diversas fases 1F, 2F e 3F, considerado para cada risco, é determinado através da média do somatório dos níveis de risco dos três grupos de atividades, cumprindo assim o previsto por Eskesen, quando refere que o somatório de riscos deve ser igual ao somatório de riscos de cada atividade [69].

O critério de tolerabilidade assume especial importância, dado ser ele que indicará, numa situação real de obra, se os requisitos mínimos de segurança se encontram garantidos, de modo à tarefa não ter de ser interrompida para reforço de medidas preventivas. O WTF tem critérios de tolerabilidade pré-definidos, pelo que se considerarão como válidos para esta investigação e suficientes para ultrapassar a dificuldade de estipulação de critérios de aceitação referida anteriormente.

Em termos de índice Nr, indicam-se, na Tabela 37, os comentários feitos aos níveis de risco pelo criador do Método e por dois dos autores que o adaptaram.

Analisa-se também se as MPB apresentadas aquando da realização do inquérito se podem considerar suficientes para que a tarefa se realize dentro dos níveis toleráveis de segurança e saúde, face às três interpretações dos níveis de magnitude do risco. Atendendo ao elevado carácter prático deste estudo, esta análise não poderia faltar.

A Tabela 37 indica a interpretação dada aos diversos níveis de magnitude de risco.

Tab.37-Magnitude, classificação de risco e prioridade de intervenção

Nr	Fine	Kinney	Freitas, 2008	MPB estipuladas são suficientes para continuar a tarefa em segurança?
> 400	<i>"Immediate correction required. Activity should be discontinued until hazard is reduced"</i>	<i>"Very high; consider discontinuing operation"</i>	Suspensão imediata de atividade perigosa	Não
200<Nr< 400	<i>"Immediate correction required. Activity should be discontinued until hazard is reduced"</i>	<i>"High risk; immediate correction required"</i>	Correção imediata	Não
70<Nr< 200	<i>"Urgent. Requires attention as soon as possible"</i>	<i>"Substantial risk; correction needed"</i>	Correção necessária urgente	Sim
20<Nr< 70	<i>"Hazard should be eliminated without delay, but situation is not an emergency"</i>	<i>"Possible risk; attention indicated"</i>	Não é urgente, mas deve corrigir-se	Sim
<20	<i>"Hazard should be eliminated without delay, but situation is not an emergency"</i>	<i>"Risk; perhaps acceptable"</i>	Pode omitir-se a correção	Sim

No tocante à tolerabilidade, verifica-se, consoante a interpretação dada pelos autores do WTF, que o limiar da tolerabilidade do nível de risco se encontra no valor Nr=200. Assim, considerar-se-á, considerando cada uma das fases de trabalho, este valor de Nr como a fronteira entre a situação em que o trabalho tem condições suficientes para continuar e a situação em que o trabalho não reúne as condições necessárias.

Na interpretação de resultados, será dada ênfase àquelas tarefas que ultrapassam esse limiar de não tolerabilidade e para as quais se considera que as MPB estipuladas não se revelam como suficientes para que a tarefa seja realizada e, portanto, exigem uma intervenção.

7.7.6.2. Análise de propensão para fatores ocupacionais

Para a análise da propensão para cada fator ocupacional, foi criado o **Índice de nível de propensão de risco “Pr”**. A escala adotada foi de 0 (Propensão baixa), 1 (Propensão média) e 2 (Propensão elevada). Indicam-se na Tabela 38 os valores adotados para Pr.

Tab.38-Magnitude, classificação de propensão de fator ocupacional e prioridade de intervenção

Índice de propensão (Pr)	Classificação da propensão	MPB estipuladas são suficientes para continuar a tarefa em segurança?
Entre 1,3 e 2	Elevada	Não
Entre 0,5 e 1,3	Média	Sim
Menor que 0,5	Baixa	Sim

Do mesmo modo que para o Nr, para o Pr será necessário definir um critério de tolerabilidade. O valor de Pr estipulado como limite de tolerabilidade é o 1,3. Para valores superiores a 1,3 considera-se, então, que as MPB estipuladas não se revelam suficientes para que a tarefa seja realizada, pelo que é necessária uma intervenção.

7.7.6.3. Análise de influência de cenários

Para a avaliação da influência dos cenários, o inicial e os alternativos, foi criado o índice **Índice de influência no risco “Ir”** que pretende descrever se as condições estipuladas no cenário aumentam o risco em estudo. A escala do índice é 0 (Não aumenta o risco), 1 (Aumenta pouco o risco) e 2 (Aumenta bastante o risco). Indicam-se na Tabela 39 os valores adotados para Ir.

Tab.39-Influência do cenário e respetiva classificação

Influência do cenário (Ir)	Classificação da influência do cenário
Entre 1,5 e 2	Alta
Entre 0,5 e 1,5	Média
Menor que 0,5	Baixa

Do mesmo modo que para o Nr e Pr, para o Ir será necessário definir um critério a partir do qual a influência do cenário não é tolerável. O valor de Ir estipulado como limite de tolerabilidade é o 1,5. Para valores superiores a 1,5 considera-se, então, que o efeito que o cenário tem no risco é bastante relevante e tem de ser minimizado.

7.7.6.4. Análise de redução de riscos imposta por medidas preventivas

O resultado prático da aplicação das MP será aferido através do seu grau de impacto na redução de riscos para os dois métodos de escavação. Para determinar o grau de redução, foi criado o **Índice de redução de risco "Rr"**. A escala do índice é 0 (Não reduz o risco), 1 (Reduz pouco o risco) e 2 (Reduz bastante o risco). Indica-se na Tabela 40 os valores adotados para Ir.

Tab.40-Avaliação de redução de riscos

Grau de Redução	Classificação
Entre 1,5 e 2	Redução bastante relevante
Entre 0,5 e 1,5	Redução razoável
Menor que 0,5	Redução irrelevante

Do mesmo modo que para os restantes índices, para o Rr será necessário definir um critério a partir do qual o efeito redutor da medida preventiva é bastante relevante. O valor de Rr estipulado como limite de pertinência é o 1,5. Para valores de Rr superiores a 1,5 considera-se, então, que a medida preventiva proposta foi avaliada pelos inquiridos como bastante pertinente. Para valores de Rr inferiores a 1,5, considera-se que a medida preventiva não é de implementação pertinente.

7.7.7. Imagem gráfica

Indica-se, na Figura 85, um exemplo da folha Excel apresentada aos inquiridos para preenchimento (no caso, é relativa ao risco "Inalação de poeiras de maciço rochoso/betão projetado). A cada um dos riscos, correspondeu um separador no Excel, com uma folha idêntica a esta.

INALAÇÃO POEIRAS MACIÇO ROCHOSO / BETÃO PROJETADO	CENÁRIO INICIAL								CEN1 - MACIÇO INSTÁVEL E C/ AFLUÊNCIA ÁGUA		CEN2 - SIMULTANEIDADE TAREFAS		CEN3 - EXPLOSIVOS		M1	M2	
	MEC				MET				MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET			
	Exposição	Probabilidade	Consequência	Nível de Risco	Exposição	Probabilidade	Consequência	Nível de Risco									
ATIVIDADE / ENQUADRAMENTO									Aumenta o risco 0=Não; 1=Pouco; 2=Bastante	Aumenta o risco 0=Não; 1=Pouco; 2=Bastante	Aumenta o risco 0=Não; 1=Pouco; 2=Bastante	Aumenta o risco 0=Não; 1=Pouco; 2=Bastante	Aumenta o risco 0=Não; 1=Pouco; 2=Bastante			Reduz o risco 0=Não; 1=Pouco; 2=Bastante	Reduz o risco 0=Não; 1=Pouco; 2=Bastante
Escavação / remoção escombros				0				0									
Betão projetado / disp. estab				0				0									
Revestimento final				0				0									
NÍVEL TOTAL RISCO				0				0									

Fig.85-Exemplo de inquérito-folha de avaliação de riscos

Cada inquirido procedeu à avaliação da Exposição, Probabilidade e Consequência para cada um dos métodos e para cada uma das fases de trabalho. Seguidamente, era pedido a cada inquirido que avaliasse o aumento

de risco associado à existência dos cenários alternativos. Por último, foi-lhes solicitado que avaliassem o grau de redução de risco imposto pelas medidas preventivas determinadas.

Refira-se desde já que, após o preenchimento destes dados, era apresentada ao inquirido uma folha com o resumo dos resultados globais (Figura 86), em que o inquirido passava a conhecer o nível total de risco atribuído a cada um dos métodos, tendo assim a possibilidade de verificar se os valores atribuídos iam ao encontro da sua perspetiva teórica prévia.

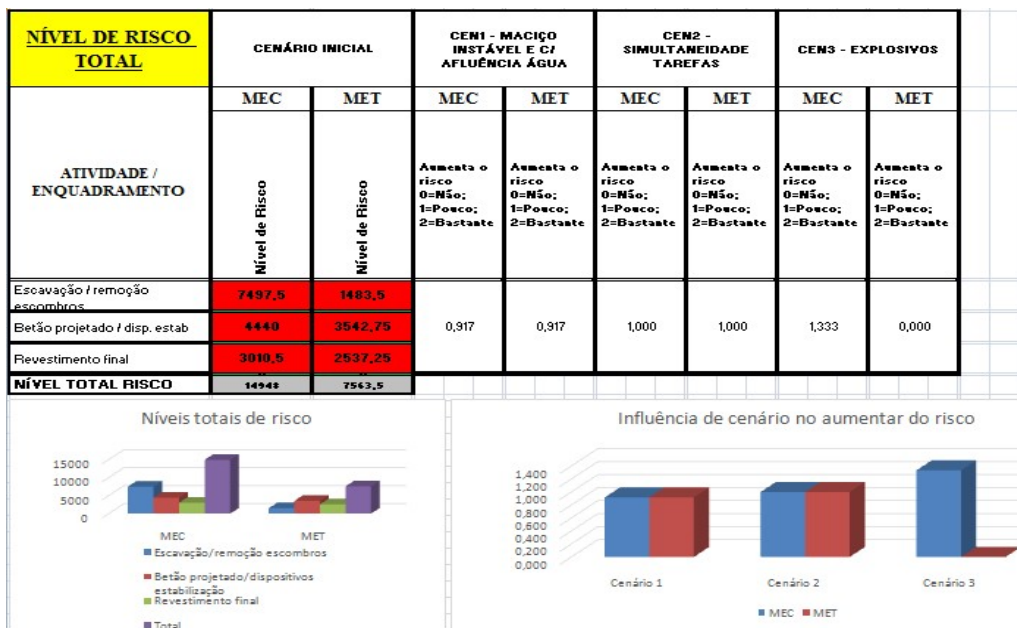


Fig.86-Exemplo de inquérito–resultados finais

No tocante a análise de percepção de fatores ocupacionais, indica-se, na Figura 87, um exemplo da folha Excel apresentada aos inquiridos para preenchimento (no caso, é relativa ao fator ocupacional “Ruído”). A cada um dos fatores ocupacionais correspondeu um separador no Excel com uma folha idêntica a esta.

Fator de risco x		M1	M2
ATIVIDADE / ENQUADRAMENTO	Deverá indicar, para cada método, qual o nível de propensão, em termos de saúde ocupacional, relacionados com o risco em questão (0=Baixa; 1=Média; 2=Elevada)	Reduz o risco (0=Não; 1=Peço; 2=Bastante)	Reduz o risco (0=Não; 1=Peço; 2=Bastante)
		MEC	MET
Escavação/remoção escombros			
Betão projetado / disp. estab			
Revestimento final			

Fig.87-Exemplo de inquérito–folha de avaliação de propensão para factor de risco

Cada inquirido procedeu à análise do nível de propensão de fator ocupacional para cada um dos métodos e para cada uma das fases de trabalho. Por último, foi-lhes solicitado que analisassem o grau de redução do fator ocupacional imposto pelas medidas preventivas determinadas.

Refira-se desde já que, após o preenchimento destes dados, era apresentada ao inquirido uma folha com resumo de resultados globais (Figura 88) em que o inquirido passava a conhecer a perceção sobre o nível total da propensão para o fator ocupacional atribuído a cada um dos métodos, tendo assim a possibilidade de verificar se os valores atribuídos iam ao encontro da sua perspetiva teórica prévia.

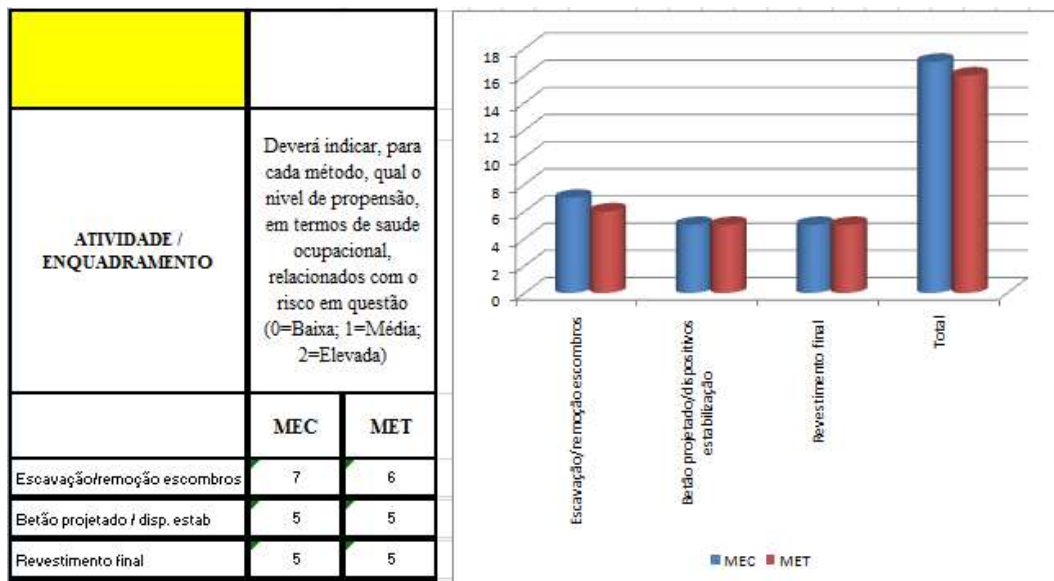


Fig.88-Exemplo de inquérito – folha resultados finais

7.7.8. Implementação

Atendendo à grande quantidade de informação que os inquiridos deveriam fornecer, e não querendo correr o risco de se obterem inquéritos com informação incompleta, optou-se por não realizar o inquérito por correio eletrónico, fazendo-o antes de forma presencial. Para tal, foram realizadas sessões de inquérito.

Na primeira parte das sessões, o estudo era apresentado, os seus objetivos eram explicados e as regras de preenchimento do inquérito eram indicadas.

Quanto ao inquérito propriamente dito, as questões da primeira parte visam obter uma caracterização do inquirido, em termos de idade, experiência profissional e função. A segunda secção do inquérito é referente à avaliação de riscos, e a terceira secção refere-se à análise da propensão para ocorrência de fatores ocupacionais.

Os inquéritos apenas eram considerados válidos se todos os parâmetros estivessem preenchidos. Este facto foi comunicado aos inquiridos, para obstar à possibilidade de não preencherem um deles, o que inutilizaria todo o restante inquérito.

O inquérito foi realizado entre os meses de novembro de 2016 e janeiro de 2017, em diversas fases, de modo a poder conciliar as disponibilidades dos inquiridos. Os dados foram obtidos em três sessões, duas no Porto (aquando das Jornadas Técnicas de Segurança e Saúde em Obras Subterrâneas, realizadas no CICCOPN, e em reunião específica e programada na EDP) e uma sessão em Lisboa (CENOR). Foram obtidas respostas de um total de 30 inquiridos. Um dos inquiridos apenas respondeu à parte do inquérito relativa à avaliação de riscos.

A caracterização dos inquiridos, muito importante [26] para este tipo de investigação, é a indicada na Tabela 41

Tab.41-Caraterização de inquiridos

Local	Data	Abreviatura	Idade	Área Trabalho	Tipo Entidade	Anos Exp
CICCOPN	26/11/16	MT	41	Coord.Seg.Obra	Fiscalização/Coord.Segurança	9
CICCOPN	26/11/16	NT	46	Coord.Seg.Obra	Fiscalização/Coord.Segurança	7
CICCOPN	26/11/16	VN	34	Projeto	Projetista	7
CICCOPN	26/11/16	CC	35	Gestão Segurança	Entidade Executante	5
CICCOPN	26/11/16	AG	42	Gestão Segurança	Entidade Executante	15
CICCOPN	26/11/16	JB	43	Coord.Seg.Obra	Dono de Obra	5
CICCOPN	26/11/16	FM	52	Inspeção de Trabalho	Autoridade Condições Trabalho	5
CICCOPN	26/11/16	JA	40	Coord.Seg.Obra	Fiscalização/Coord.Segurança	12
CICCOPN	26/11/16	VR	40	Coord.Seg.Projeto	Projetista	5
EDP	20/01/17	JQ	61	Supervisão Segurança	Dono de Obra	6
EDP	20/01/17	TF	36	Supervisão Segurança	Dono de Obra	7
EDP	20/01/17	AV	59	Supervisão Segurança	Dono de Obra	25
EDP	20/01/17	NP	51	Projeto	Projetista	27
EDP	20/01/17	CG	40	Outro	Dono de Obra	13
EDP	20/01/17	RP	56	Supervisão Segurança	Dono de Obra	28
EDP	20/01/17	JÁ	62	Gestão obra	Dono de Obra	3
EDP	20/01/17	PP	42	Outro	Dono de Obra	8
EDP	20/01/17	MO	57	Gestão obra	Dono de Obra	25
EDP	20/01/17	AM	58	Outro	Dono de Obra	30
EDP	20/01/17	SA	33	Outro	Dono de Obra	7
EDP	20/01/17	TM	32	Outro	Dono de Obra	8
EDP	20/01/17	CE	40	Projeto	Dono de Obra	17
CENOR	26/01/17	BP	26	Projeto	Projetista	2
CENOR	26/01/17	JÁ	28	Projeto	Projetista	6
CENOR	26/01/17	RE	25	Projeto	Projetista	3
CENOR	26/01/17	CB	50	Projeto	Projetista	20
CENOR	26/01/17	PM	35	Projeto	Projetista	9
CENOR	26/01/17	LC	35	Coord.Seg.Projeto	Projetista	1
CENOR	26/01/17	MC	39	Projeto	Projetista	15
CENOR	26/01/17	NA	45	Projeto	Projetista	10
Média			42,8			11,3

Na Figura 89, resume-se o número de anos de experiência profissional, em obras subterrâneas, dos inquiridos.

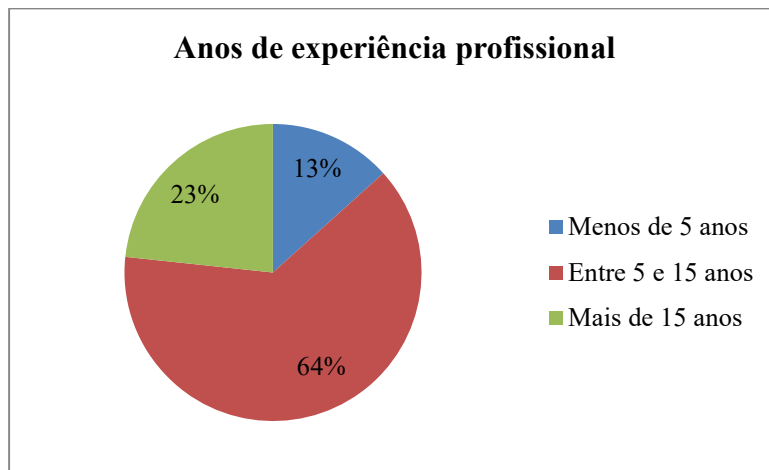


Fig.89-Distribuição de anos de experiência profissional

O número médio de anos de experiência é de 11,3 anos, bastante acima do previsto nos requisitos estipulados inicialmente.

De realçar que existem quatro casos que possuem uma experiência menor que 5 anos. No entanto, o autor decidiu incluir estes casos, dado o contacto permanente, e não, por exemplo, semanal, destes inquiridos com obras subterrâneas executadas com os dois métodos de escavação. No caso do inquérito sobre fatores ocupacionais, um dos inquiridos não forneceu respostas válidas.

Na Figura 90, indica-se o tipo de entidade empregadora dos inquiridos.

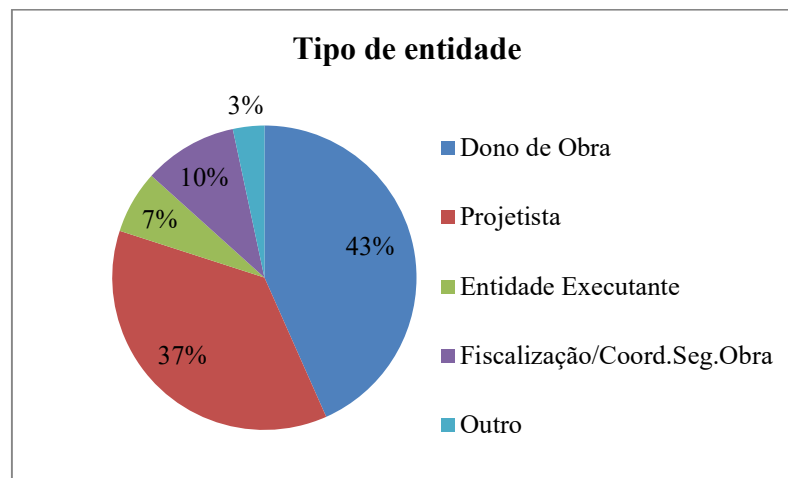


Fig.90-Distribuição de tipos de entidade empregadora

Na Figura 91, indica-se a área de trabalho dos inquiridos.

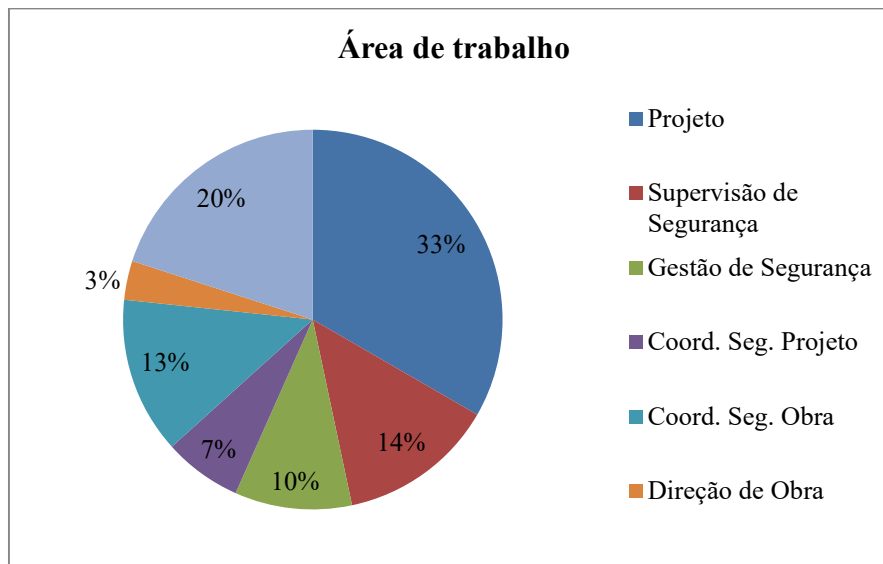


Fig.91-Área de trabalho dos inquiridos

No anexo 1 listam-se os resultados obtidos no inquérito realizado.

7.7.9. Desafios à implementação

Os principais desafios sentidos durante a implementação deste inquérito foram os seguintes:

- Encontrar 30 especialistas em OS e juntá-los em grupos da maior dimensão possível, de modo a reduzir os custos associados à aplicação do inquérito (designadamente, despesas de deslocação);
- O inquérito demorava, em média, duas horas a preencher, tempo que alguns dos inquiridos consideraram excessivo;
- Cada inquirido tinha de avaliar um número substancial de parâmetros (cerca de 330);
- Devido ao interesse que o tema suscitou entre os participantes, a interacção entre os inquiridos durante a realização do inquérito tornou-se, em alguns temas mais “polémicos” e subjetivos, algo excessiva, pelo que teve de ser travada, de modo a manter-se o controlo a nível de tempo;
- Criar um meio de visualização em que, imediatamente após o preenchimento do questionário, os inquiridos pudessem ver o resultado final das opiniões dadas.

O modo escolhido para a realização deste inquérito apresentou as seguintes vantagens:

- As respostas foram introduzidas diretamente no computador pelos inquiridos;
- Não existiram custos de realização de inquérito nem de introdução de respostas;
- A presença do autor junto dos inquiridos durante o preenchimento, existindo um maior controlo do ambiente onde o inquérito foi efetuado, revelou-se como fulcral, para diminuir drasticamente a taxa de questionários incompletos.

7.7.10. Metodologia para minimização de erros no processo

No decorrer da gestão de riscos, podem ser cometidos diversos erros. Embora a literatura seja escassa relativamente ao tipo de dificuldades mais habituais, Gadd realizou um levantamento [101], aqui apresentado na primeira coluna da Tabela 42. Na segunda coluna desta tabela, encontram-se os comentários relativos ao modo como no presente estudo se tentou evitar estes erros.

Tab.42-Erros típicos e modo de os ultrapassar

Erro / Dificuldade	Comentário
Levar a cabo uma avaliação de riscos para suportar uma decisão já tomada	Não se dispunha, conforme já referido, de uma pré-decisão objetivamente quantificada no tocante ao método que apresenta maior nível de riscos
Usar uma AR genérica quando uma AR específica é necessária	Este estudo propõe uma AR genérica para servir de base a AR específicas para cada empreitada e respetivos cenários e condicionalismos
Levar a cabo uma AR quantitativa sem previamente implementar as boas práticas existentes no mercado	Para realizar a AR inicial, este estudo considera que já se encontra implementado um conjunto de boas práticas correspondentes ao que o autor considera serem as boas práticas mínimas
Levar a cabo uma AR usando boas práticas desadequadas	A avaliação da adequação das boas práticas previstas como medidas preventivas foi realizada tendo em conta as boas práticas identificadas na literatura
Tomar decisões com base em estimativas de risco individuais quando o risco coletivo é mais apropriado	A AR foi realizada tendo em conta o previsto em princípios gerais de prevenção no tocante a privilegiar a proteção coletiva relativamente à proteção individual
Apenas considerar o risco para uma atividade, geralmente a de maior risco	Todos os riscos a que os trabalhadores estão sujeitos foram integrados neste processo de gestão de riscos
Dividir o tempo de exposição ao risco entre diversos trabalhadores	Os riscos que existem em permanência foram considerados como tal e não como períodos mais pequenos de menor exposição
Não envolver na AR uma equipa com conhecimento prático da atividade	A AR foi realizada recorrendo a um painel de especialistas com profundo conhecimento prático
Falha na identificação de todos os perigos associados a uma atividade	A análise foi realizada considerando todos os possíveis desvios ao normal modo de execução da tarefa identificados durante as estadas em obra
Não considerar atividades intermédias, de início ou final de trabalho	A AR considerou, através da experiência do autor, todas as atividades intermédias, de início ou de final de atividades
Uso de dados pouco fiáveis ou não adequados às tarefas em estudo	A experiência e competência dos avaliadores obstam a esta dificuldade
Definição desadequada, ou insuficiente, de todos os cenários possíveis	Foram equacionados diversos cenários, de modo a poder contemplar diversas possibilidades de existência de cenários com condicionalismos desfavoráveis
Uso inadequado de critérios de tolerabilidade de risco	O Método WTF tem definidos critérios bastante objetivos quanto ao nível de tolerabilidade dos riscos. No tocante a fatores ocupacionais, serão estipulados critérios para o efeito.
Não considerar todas as ALARP ou MP que possam ser tomadas	Foi realizado um levantamento exaustivo, documental e em obra, para aferir quais as MP disponíveis, independentemente do seu custo
Usar o ALARP invertidamente: tentar que a relação custo/benefício prove que determinada MP pode ser retirada	Atendendo a que não foi realizado um estudo financeiro justificativo de MP a implementar, esta situação não se coloca
Não interligar perigos com medidas preventivas	O processo apresentado apresentou os perigos para cada atividade e os respetivos riscos interligando os não toleráveis com as medidas preventivas

No tocante a fiabilidade (que foi a principal questão levantada no tocante aos MASqt), a Tabela 43 apresenta, na primeira coluna, as conclusões da tese de Carvalho [86] (um dos documentos mais marcantes em termos de análise de Fiabilidade), no que se refere às limitações destes métodos, e, na segunda coluna, os comentários sobre o modo como se pretendeu, neste trabalho, ultrapassar essas limitações identificadas:

Tab.43-Integração das conclusões de Tese Carvalho [86] na presente investigação

Conclusão da Tese	Comentários
A valoração de riscos utilizando métodos diferentes pode gerar resultados diferentes	Dada a dimensão deste estudo (comparação de dois métodos de escavação, tendo em conta doze riscos e quatro fatores ocupacionais em três grupos de atividades), apenas se revela viável a utilização de um método de AR, criteriosamente escolhido
As AR podem gerar prioridades de intervenção diferentes, consoante o analista que as efetua (Fiabilidade inter-analista)	Nesta investigação, cada um dos avaliadores realizou uma avaliação, cujo objetivo principal não era valorar os riscos de cada método mas sim estabelecer uma comparação entre os dois métodos. No tocante à fiabilidade inter-analista, verificando-se que os resultados dos diversos avaliadores são semelhantes, (representando uma tendência de avaliação de determinado método como o que mais riscos acarreta), esta é garantida por este meio.
As AR podem gerar prioridades de intervenção diferentes, consoante o momento da sua avaliação (Fiabilidade intra-analista)	Em termos de fiabilidade intra-analista, tendo em conta que o avaliador tomou conhecimento dos resultados imediatamente após o final do inquérito, foi possível que ele verificasse se os resultados obtidos se encontravam de acordo com a sua opinião quanto ao método que apresenta maior nível de risco ou propensão para fator ocupacional. No caso de os resultados globais contradizerem a sua perceção quanto ao método que tem maiores níveis de risco, o inquirido tinha oportunidade de alterar as suas respostas parciais, facto que, pelo inquérito ter sido presencial, se verificou não ter ocorrido.
O tipo de risco influencia os resultados de valoração de risco obtidos	Neste estudo, não é relevante o valor em si de cada risco, mas sim o grau de comparação que esses valores permitem estabelecer entre os níveis de riscos existentes em cada método
Não existem diferenças significativas, em termos de AR, entre os resultados obtidos por diferentes avaliadores com diferentes níveis de experiência prática de segurança	Ainda assim, e de modo a garantir a máxima fiabilidade possível, o grupo de inquiridos contemplou técnicos com diferentes níveis e percursos de formação e experiência
O conhecimento prévio das situações em avaliação pode influenciar a AR, gerando menos sinais de incerteza e suprimindo as diferenças que possam existir por se aplicarem métodos diferentes	Qualquer um dos entrevistados possuía um profundo conhecimento prévio sobre os riscos associados a cada uma das tarefas. Havendo influência do conhecimento prévio das situações em avaliações, aconteceria sobre todos os avaliadores, mantendo uniformizada a amostra

8. RESULTADOS DE ESTIMATIVA E VALORAÇÃO DE RISCOS E PROPENSÃO PARA FATORES OCUPACIONAIS

8.1. Enquadramento do capítulo

Este capítulo pretende dar cumprimento aos objetivos nº 6 e 7 previstos no capítulo de introdução, respetivamente, “**Realizar uma comparação de riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, entre os dois métodos**” e “**Identificar as medidas preventivas mais atuais para cada risco e fator ocupacional e avaliar a sua pertinência**”, e dar resposta às questões de investigação nº 5 a nº 20.

Q5 - Quais os riscos com nível mais elevado em obras subterrâneas?

Q6 - Qual dos métodos de escavação apresenta níveis de risco mais elevados?

Q7 - Quais os riscos com nível mais elevado em cada método de escavação?

Q8 - Qual das fases de trabalho apresenta níveis de risco mais elevados?

Q9 - Quais os riscos mais elevados, em cada uma das fases de trabalho, para cada um dos métodos?

Q10 - Quais os riscos que apresentam, em cada método e para cada fase, níveis não toleráveis?

Q11 - Qual a influência global que cada um dos três cenários tem em cada método de escavação?

Q12 - Qual a influência dos diversos cenários em cada risco, em cada um dos métodos?

Q13 - Quais os riscos em que cada cenário apresenta um nível de influência não tolerável?

Q14 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão de ocorrer em obras subterrâneas?

Q15 - Qual dos métodos de escavação subterrânea apresenta maior tendência para existência de condições propícias ao surgimento dos fatores ocupacionais identificados?

Q16 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão para ocorrerem em cada método de escavação?

Q17 - Qual das fases de trabalho tem maiores níveis de propensão de ocorrência de fator ocupacional, em cada um dos métodos?

Q18 - Quais os fatores ocupacionais mais propensos, por método e por fase de trabalho?

Q19 - Quais os fatores ocupacionais que apresentam, em cada método e para cada uma das fases, níveis não toleráveis?

Q20 - Quais as medidas preventivas estado da arte que apresentam um nível de pertinência de implementação bastante relevante?

8.2. Introdução

Neste capítulo, serão apresentados os resultados do inquérito realizado ao painel de especialistas selecionados. Estes resultados serão posteriormente discutidos no capítulo seguinte – capítulo 9.

8.3. Resultados obtidos

Q5 - Quais os riscos com nível mais elevado em obras subterrâneas?

Na Figura 92, apresentam-se os níveis de magnitude de risco ($Nr=E \times P \times C$) obtidos para OS, considerando a média dos dois métodos:

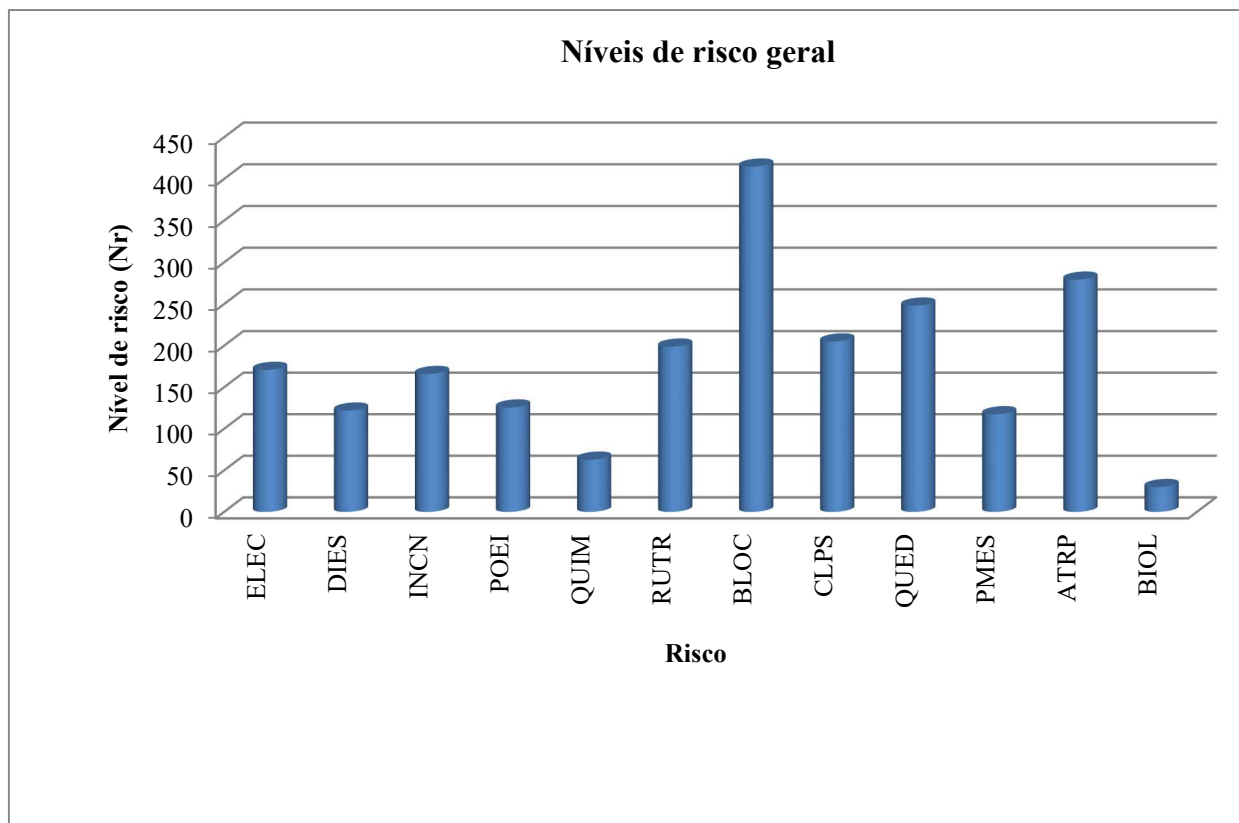


Fig.92-Níveis de risco em obras subterrâneas

R5 - Os riscos que foram avaliados com nível mais elevado, em obras subterrâneas, foram, por ordem decrescente: BLOC (que se destaca notoriamente), ATRP, QUED, CLPS e RUTR.

Salienta-se o elevado valor de Nr atribuído a BLOC ($Nr=415$), bastante distanciado do segundo risco, ATRP ($Nr=279$), e do terceiro risco, QUED ($Nr=248$).

Verifica-se que estas conclusões vão ao encontro do indicado nos estudos de Longo, que refere serem os desabamentos da frente e os atropelamentos os principais riscos [37]. Estes estudos de Longo referem ainda a rutura e a intoxicação por gases como outros dos principais riscos, sendo que, na presente análise, a intoxicação por gases aparece com valores bastante abaixo dos principais.

No nível de Nr mais inferior, salientam-se QUIM ($Nr=63$) e BIOL ($Nr=30$).

A avaliação apresentou valores de Nr bastante díspares de risco para risco, o que indicia níveis de risco bastante diferentes.

Q6 - Qual dos métodos de escavação apresenta níveis de risco mais elevados?

Na Figura 93, indica-se, numa abordagem qualitativa, a dispersão de opiniões quanto à hierarquização dos 12 riscos por método.

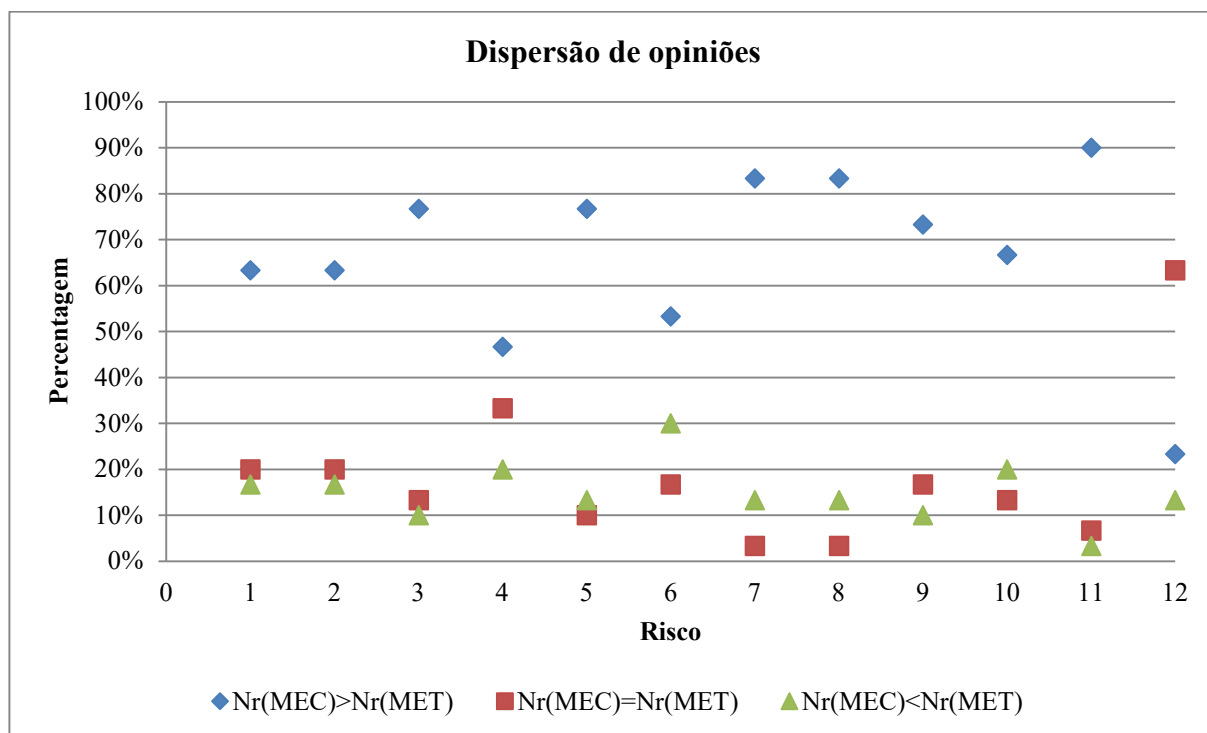


Fig.93-Dispersão de opiniões quanto a hierarquização de métodos

A valorização é diferente para cada um dos riscos, sendo que esta diferença é bastante relevante em alguns. Saliente-se que não existem riscos para os quais exista alguma das hipóteses com valores nulos. Em todos os riscos, exceto em BIOL, a opinião da maioria dos inquiridos foi a de que o MEC tem um Nr mais elevado. Em BIOL, a maioria absoluta foi de considerar que MEC=MET (63,3%), sendo seguido de opiniões de que o MEC>MET (23,3%), o que não invalida considerar-se que o MEC é superior ao MET. Nos casos em que o MEC foi avaliado como superior ao MET, em quase todos os riscos, as opiniões foram de maioria absoluta. Tal não aconteceu em INCN (46,7%). Nos riscos POEI, RUTR, BLOC, CLPS, PMES, o MEC<MET aparece como superior a MEC=MET.

No capítulo 9, será discutida a dispersão atribuída a cada um dos riscos.

Em termos de reprodutibilidade, ou seja fiabilidade via inter-analista, verifica-se que os dados obtidos revelam consensualidade entre os avaliadores quanto ao método que apresenta um Nr mais elevado, facto que garante credibilidade, através de fiabilidade, aos dados obtidos.

Numa perspetiva quantitativa, e agregando os Nr médios atribuídos para cada método, chega-se à conclusão de que o MEC (Nr=228) é avaliado com Nr superior a MET (Nr=129) (Figura 94).

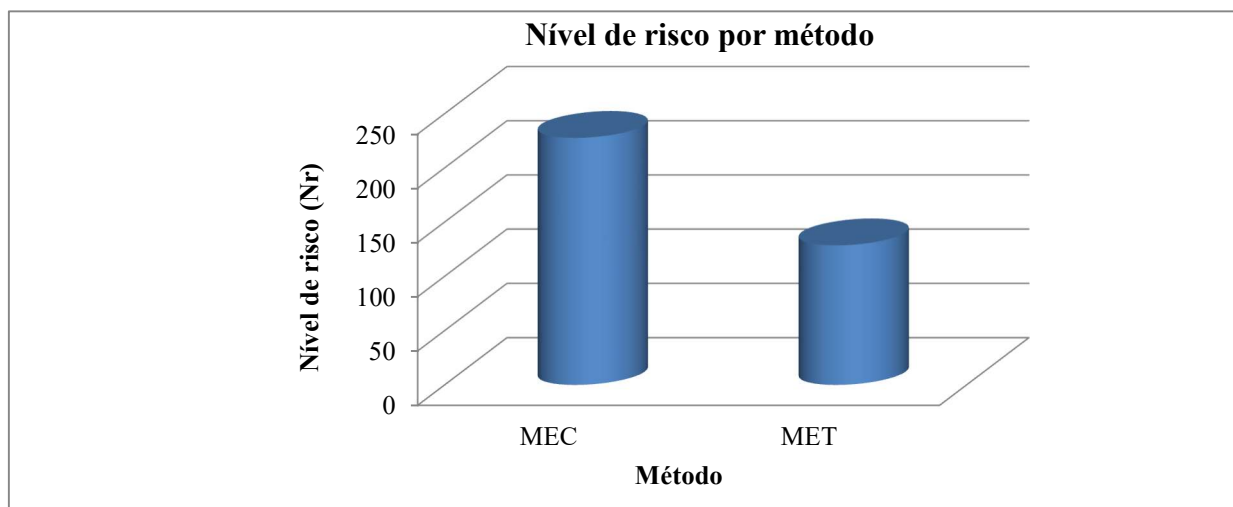


Fig.94-Nível de risco por método

Verifica-se que o valor total de Nr atribuído ao MEC (Nr=228) apresenta uma diferença bastante relevante do atribuído ao MET (Nr=129).

As principais razões que o autor encontrou para ter sido atribuído um nível de Nr superior ao MEC serão discutidas posteriormente no capítulo 9, para cada um dos riscos.

R6 - O método de escavação que apresenta níveis de risco mais elevados (bastante mais elevados, na ordem dos 77%) é o MEC.

Q7 - Quais os riscos com nível mais elevado em cada método de escavação?

Na Figura 95, apresentam-se os níveis médios de risco (Nr) atribuídos para cada um dos riscos em cada um dos métodos de escavação.

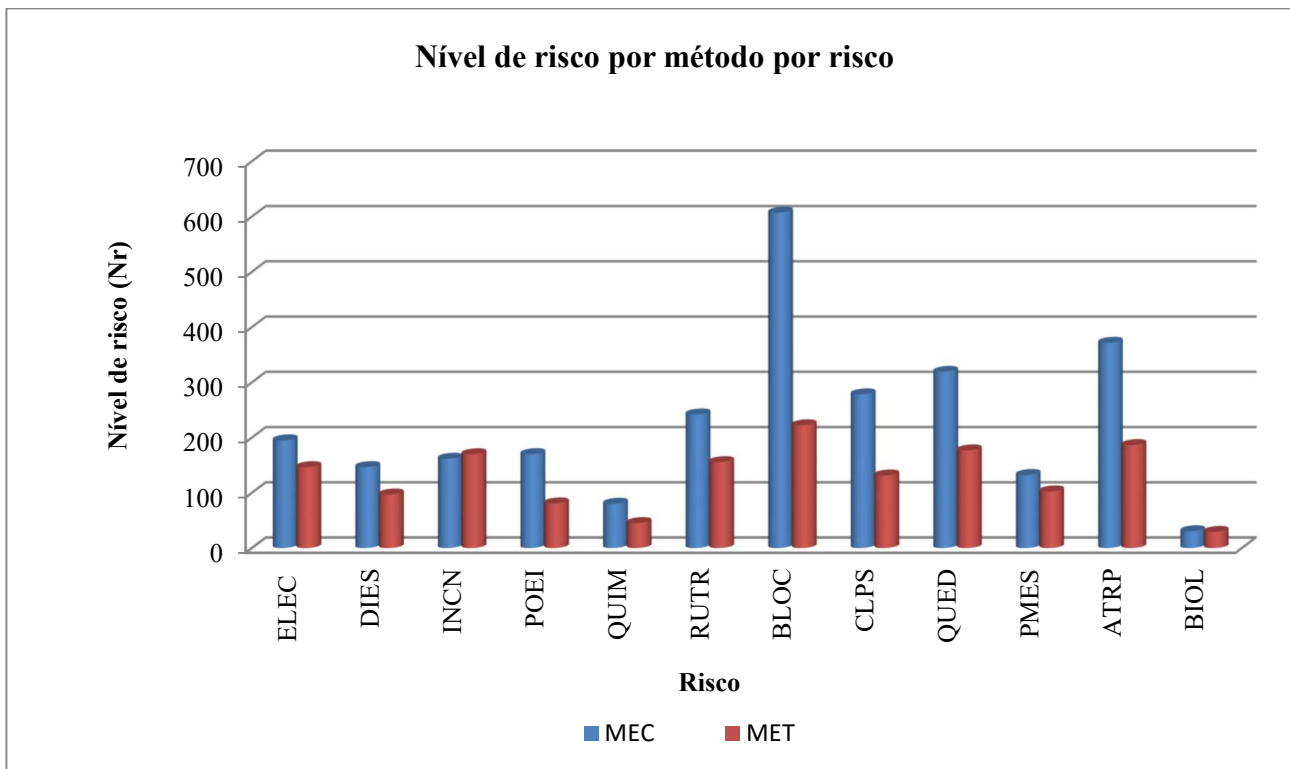


Fig.95-Comparação de níveis de risco nos dois métodos

Em termos quantitativos de Nr médio, os dois métodos apresentam hierarquizações de riscos com alguma similaridade, embora os Nr sejam bastante díspares de risco para risco.

Em quase todos os riscos, o Nr é mais alto no MEC do que no MET, designadamente em BLOC (Nr(MEC)=607 e Nr(MET)=222), POEI (Nr(MEC)=170 e Nr(MET)=81), ATRP (Nr(MEC)=372 e Nr(MET)=187) e CLPS (Nr(MEC)=278 e Nr(MET)=131), em que as diferenças são bastante relevantes.

A única exceção é em INCN (Nr(MEC)=162 e Nr(MET)=170), o que poderá indicar, tendo em conta que a maioria dos inquiridos avaliou o Nr de INCN como superior no MEC, que quem avaliou o MET como tendo maior Nr o fez com valores bastantes superiores aos que avaliaram o Nr de MEC como superior ao de MET.

Na Figura 96, indicam-se as diferenças percentuais entre os Nr dos dois métodos.

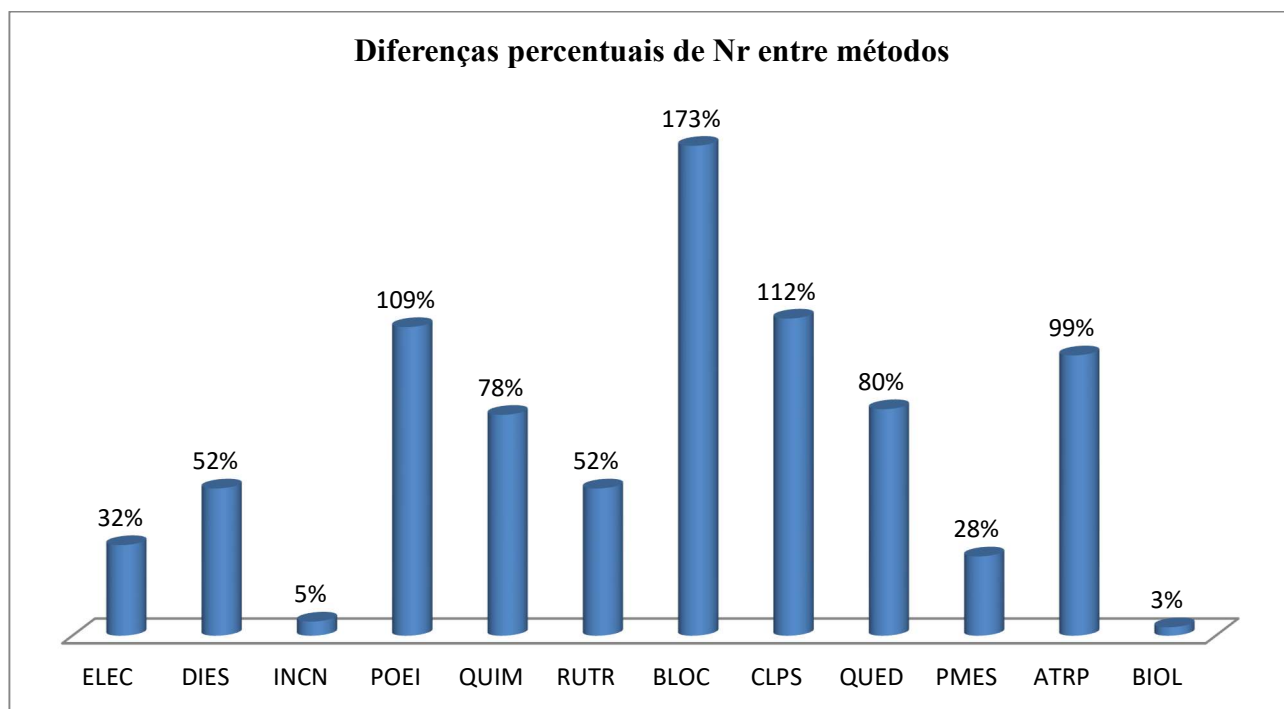


Fig.96-Diferenças percentuais de Nr entre métodos

Em termos de diferenças percentuais entre os níveis de riscos presentes nos dois métodos, nota-se uma elevada disparidade, sendo que os valores se situam entre os 173% (BLOC) e 112% (CLPS), e os 3% (BIOL) e 5% (INCN).

R7 - Os riscos avaliados com nível mais elevado em cada método de escavação foram:

a) MEC - BLOC, ATRP, QUED, CLPS e RUTR

b) MET - BLOC, ATRP, QUED, INCN e RUTR

Q8 - Qual das fases de trabalho apresenta níveis de risco mais elevados?

Na Figura 97, indicam-se os níveis de risco existentes por cada uma das fases de trabalho.

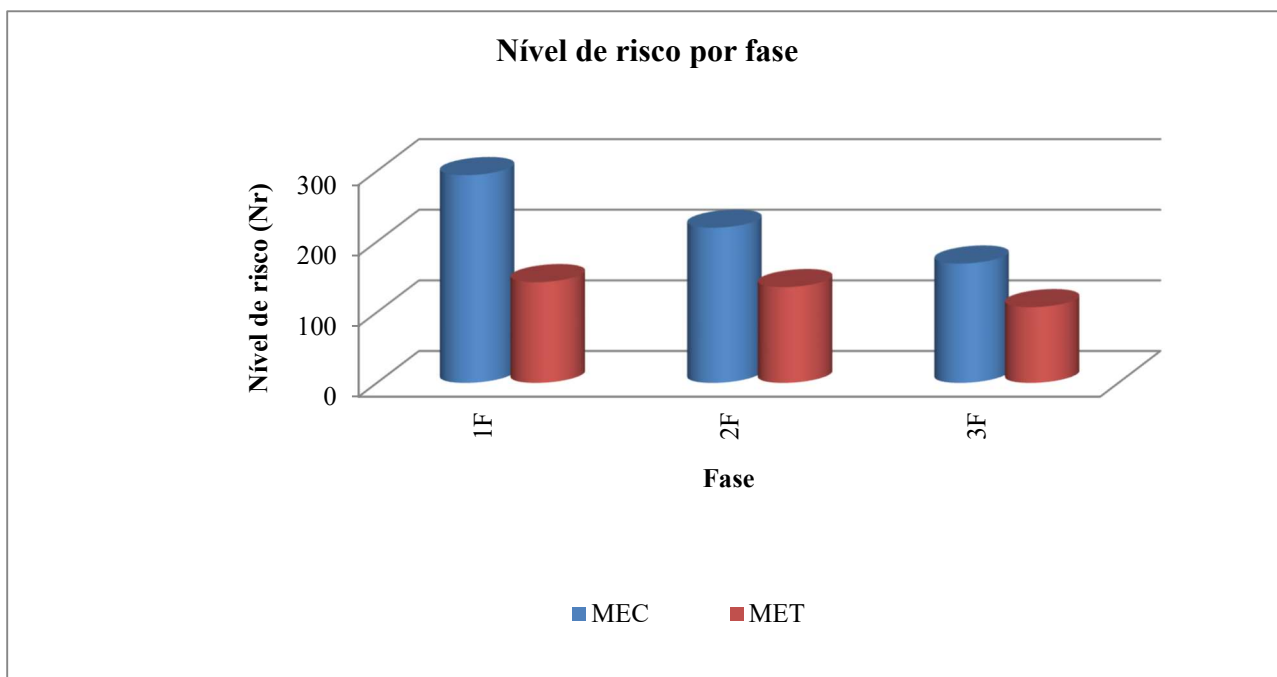


Fig.97-Nível de risco por fase de trabalho

R8 - As fases de trabalho que apresentam níveis de risco mais elevados são similares nos dois métodos, a saber: a fase de nível de risco mais elevado é a 1ª, seguida da 2ª, a que se segue a 3ª.

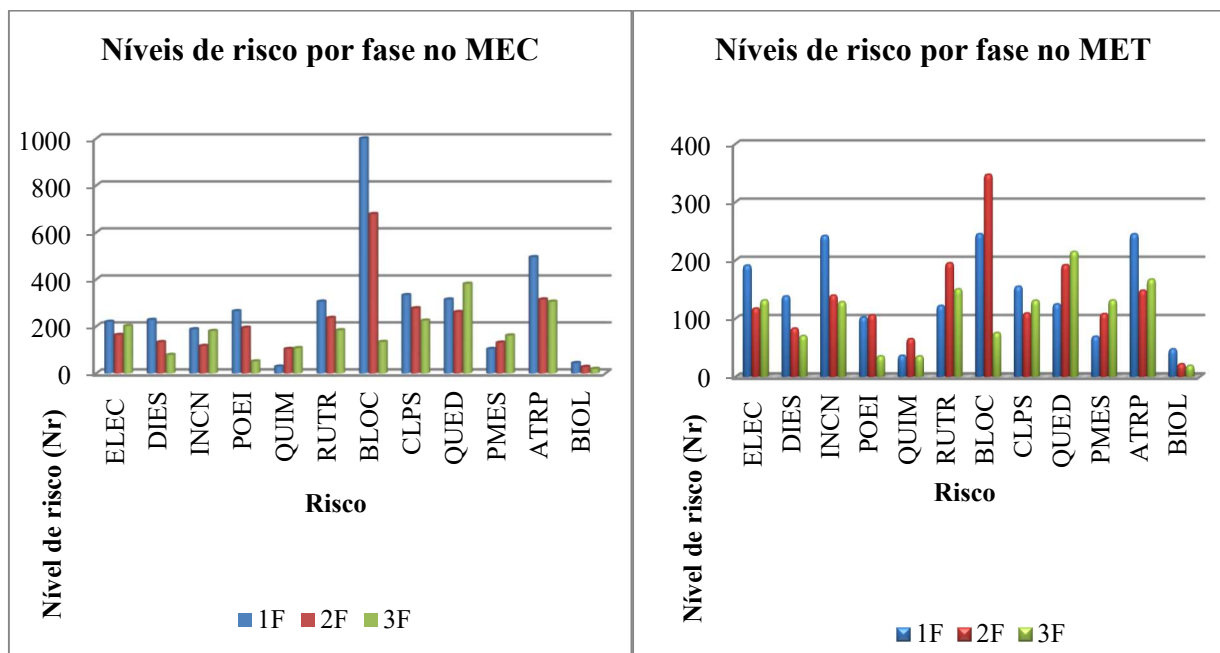
O MEC apresenta, nas três fases, níveis de risco notoriamente superiores ao MET, decrescendo a diferença de Nr da 1ª para a 3ª fase.

No caso no MEC, a 1F apresenta um valor total de Nr de 295, a 2F de 220 e a 3F de 169. No caso no MET, os valores são mais baixos do que no caso do MEC: a 1F apresenta um valor total de Nr de 143, a 2F de 136 e a 3F de 107.

Os resultados obtidos para o MEC, que indicam que a primeira fase é a mais relevante, contrariam Anerizis que, na sua análise, referia que os maiores riscos apareceriam na terceira fase, designadamente para os trabalhadores associados à montagem de sistemas de impermeabilização, à cofragem/betonagem e à montagem de armaduras [17].

Q9 - Quais os riscos mais elevados, em cada uma das fases de trabalho, para cada um dos métodos?

Nas Figuras 98a) e b), indicam-se os níveis de risco existentes por cada uma das fases de trabalho, por método:



Figs.98a) e b)-Níveis de risco por fase no MEC e no MET

A valorização é bastante diferente, tendo em conta os riscos e as fases que estão a ser estudados.

No MEC, os riscos BLOC e ATRP sobressaem nitidamente relativamente aos restantes no tocante à sua elevada magnitude. Pelo contrário, os riscos BIOL e QUIM salientam-se pela sua reduzida magnitude. No MET, embora em gamas de Nr mais baixas, os riscos que se salientam pelo elevado valor de Nr são BLOC, QUED; ATRP, INCN e ELEC. Do mesmo modo que no MEC, os riscos BIOL e QUIM apresentam uma baixa magnitude para as três fases.

A influência das fases em cada um dos riscos será discutida no capítulo 9.

R9 - Os riscos mais elevados, em cada uma das fases de trabalho, para cada um dos métodos são os seguintes:

a) MEC - 1ª e 2ª fases - BLOC, ATRP, CLPS. 3ª fase - QUED, ATRP, CLPS

b) MET - 1ª fase - BLOC=ATRP>INCN. 2ª fase - BLOC, QUED, RUTR - 3ª fase - QUED, ATRP, RUTR

Q10 - Quais os riscos que apresentam, em cada método e para cada uma das fases, níveis não toleráveis?

Importa agora analisar, tendo em conta as Figuras anteriores, as fases de trabalho em que os riscos foram considerados como não toleráveis. Lembra-se a Tabela de magnitude de risco, já exposta aquando da apresentação do método de WTF e que agora se replica na Tabela 44, e a sua interrelação com as condições existentes para continuação de trabalhos.

Tab.44-Magnitude, classificação de risco e prioridade de intervenção

Magnitude do risco (Nr)	Classificação do risco	Prioridade de intervenção
Maior que 400	Iminente	Suspensão imediata da atividade perigosa
Entre 200 e 400	Alto	Correção imediata
Entre 70 e 200	Notável	Correção necessária urgente
Entre 20 e 70	Moderado	Não é urgente, mas deve corrigir-se
Menor que 20	Aceitável	Pode omitir-se a correção

Na Tabela 45, resumem-se os resultados obtidos.

Tab.45-Tolerabilidade de riscos (Nr)

Risco / Fase	MEC			MET		
	1F	2F	3F	1F	2F	3F
ELEC	220	164	202	191	117	131
DIES	228	133	79	138	83	70
INCN	188	117	181	242	140	128
POEI	265	194	51	102	106	35
QUIM	29	104	108	36	65	35
RUTR	306	236	184	122	195	150
BLOC	1009	679	134	245	347	75
CLPS	333	277	225	155	109	131
QUED	315	261	382	124	192	215
PMES	104	131	162	69	108	131
ATRP	495	315	305	245	148	167
BIOL	44	28	19	47	22	19

Verifica-se que algumas das fases foram avaliadas com um Nr não tolerável, ou seja o valor de Nr excede 200. A esta constatação pode atribuir-se o significado de que as medidas preventivas base estipuladas não se revelam como suficientes para a minimização do risco existente. Para estes riscos serão posteriormente apresentadas, para avaliação, medidas preventivas.

R10 - Os riscos que apresentam, em cada método, níveis não toleráveis são:

MEC - 1ª fase - ELEC, DIES, INCN, POEI, RUTR, BLOC, CLPS, QUED, ATRP; 2ª fase - RUTR, BLOC, CLPS, QUED, ATRP; 3ª fase - ELEC, CLPS, QUED, ATRP

MET - 1ª fase - INCN, BLOC, ATRP; 2ª fase - BLOC; 3ª fase - QUED

Q11 - Qual a influência global que cada um dos três cenários tem em cada método de escavação?

Na Figura 99, ilustra-se, de acordo com a Tabela 39 anteriormente exposta, o nível de influência dos cenários no risco (Ir) por método.

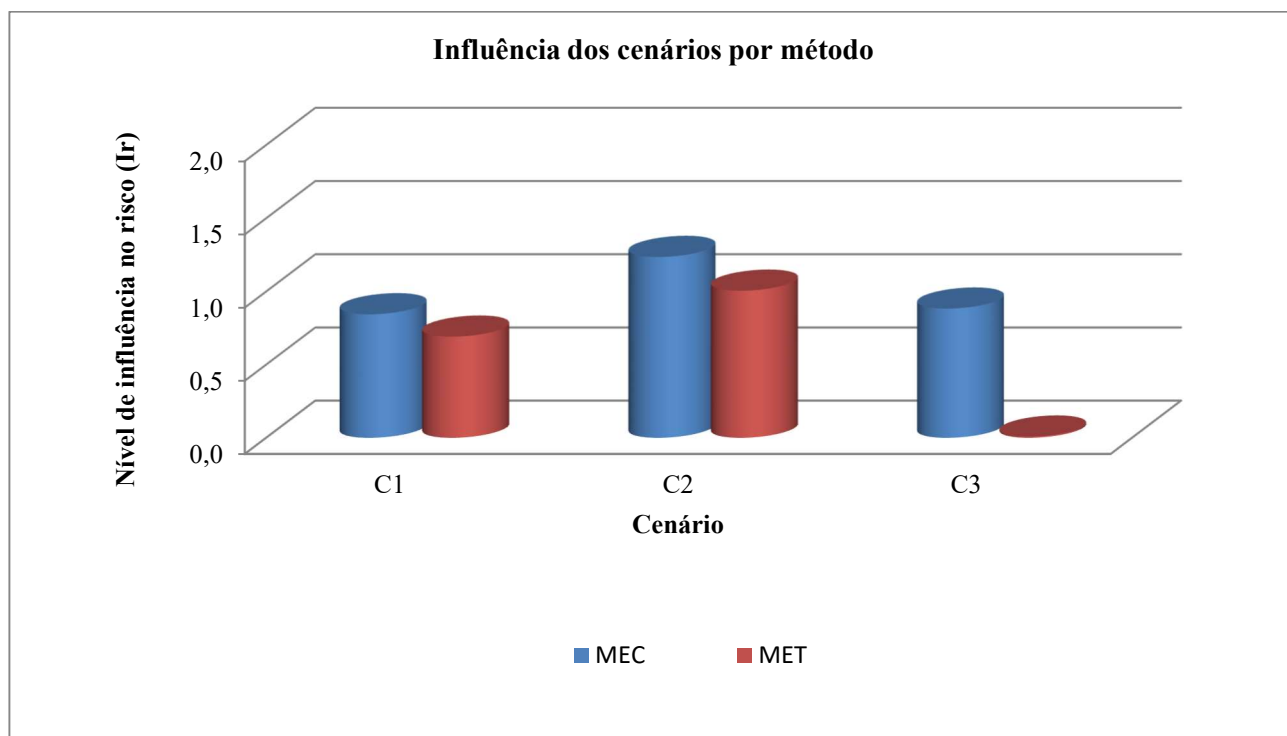


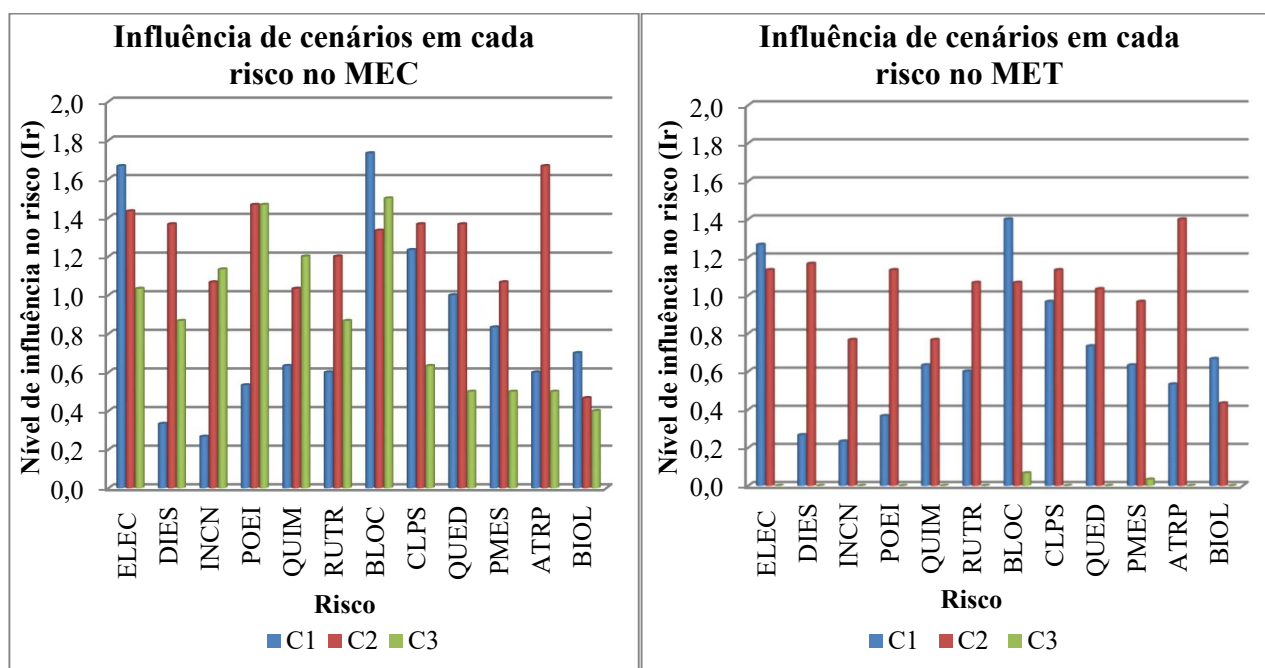
Fig.99-Influência dos cenários por método

R11 - A influência global que cada um dos três cenários acima descritos tem em cada método de escavação pode ser resumida deste modo: o cenário 2 é o cenário que produz, quer no MEC (Ir=1,2) quer no MET (Ir=1,0), um maior agravamento de riscos. O segundo cenário que mais agrava os riscos é o cenário 3, no caso do MEC (Ir=0,9), e o cenário 1, no caso do MET (Ir=0,7). Em terceiro lugar aparece, no MEC, o cenário 1 (Ir=0,8) e, no MET, o cenário 3 (Ir=0,0).

Em termos de valores, não se verifica uma relevante disparidade entre o MEC e o MET, sendo que o MEC apresenta valores de Ir superiores nos três cenários.

Q12 -Qual a influência dos diversos cenários em cada risco, em cada um dos métodos?

Nas Figuras 100a) e b), indica-se a influência dos cenários por risco, no MEC e no MET.



Figs.100a) e b) -Influência de cenários em cada risco no MEC e no MET

R12 - A influência dos diversos cenários em cada risco, em cada um dos métodos, encontra-se listada abaixo:

a) MEC

1ºcenário - BLOC (Ir=1,7), ELEC (Ir=1,7), CLPS (Ir=1,2)

2ºcenário - ATRP (Ir=1,7), POEI (Ir=1,5), DIES (Ir=1,4), ELEC (Ir=1,4), CLPS (Ir=1,4), QUED (Ir=1,4)

3ºcenário - BLOC (Ir=1,5), POEI (Ir=1,5), QUIM (Ir=1,2)

MET

1ºcenário - BLOC (Ir=1,4), ELEC (Ir=1,3), CLPS (Ir=1,0)

2ºcenário - ATRP (Ir=1,4), DIES (Ir=1,2), ELEC (Ir=1,1)

3ºcenário - Não aplicável

Q13 - Quais os riscos em que cada cenário apresenta um nível de influência não tolerável?

Importa agora analisar, tendo em conta as Figuras anteriores, a influência dos cenários em cada um dos riscos, e os cenários que foram considerados como não toleráveis. Relembra-se a Tabela de nível de influência dos cenários, já exposta anteriormente e que agora se replica na Tabela 46, e a sua interrelação com as condições existentes para continuação de trabalhos.

Tab.46-Influência do cenário (Ir) e respetiva classificação

Influência do cenário (Ir)	Classificação da influência do cenário
Entre 1,5 e 2	Alta
Entre 0,5 e 1,5	Média
Menor que 0,5	Baixa

Na Tabela 47, resumem-se os resultados obtidos.

Tab.47-Influência de cenários (Ir)

Risco / Fase	MEC			MET		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
ELEC	1,7	1,4	1,0	1,3	1,1	0,0
DIES	0,3	1,4	0,9	0,3	1,2	0,0
INCN	0,3	1,1	1,1	0,2	0,8	0,0
POEI	0,5	1,5	1,5	0,4	1,1	0,0
QUIM	0,6	1,0	1,2	0,6	0,8	0,0
RUTR	0,6	1,2	0,9	0,6	1,1	0,0
BLOC	1,7	1,3	1,5	1,4	1,1	0,1
CLPS	1,2	1,4	0,6	1,0	1,1	0,0
QUED	1,0	1,4	0,5	0,7	1,0	0,0
PMES	0,8	1,1	0,5	0,6	1,0	0,0
ATRP	0,6	1,7	0,5	0,5	1,4	0,0
BIOL	0,7	0,5	0,4	0,7	0,4	0,0

Verifica-se que alguns dos cenários foram classificados como tendo um Ir não tolerável. A esta constatação pode atribuir-se o significado de que o seu efeito negativo nos riscos é crítico e deve ser minimizado.

Resume-se abaixo, para cada uma das fases de trabalho, os cenários considerados como tendo níveis de influência não toleráveis.

R13 - Os cenários que apresentam, em cada método, níveis de influência não toleráveis são:

MEC - C1: ELEC, BLOC; C2: POEI, ATRP; C3: POEI, BLOC

MET - C1: nenhum; C2: nenhum; C3: nenhum

Q14 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão de ocorrer em obras subterrâneas?

Na Figura 101, apresentam-se, de acordo com a Tabela 39 anteriormente exposta, os níveis de propensão de fatores ocupacionais (Pr), obtidos para as OS, considerando a média dos dois métodos:

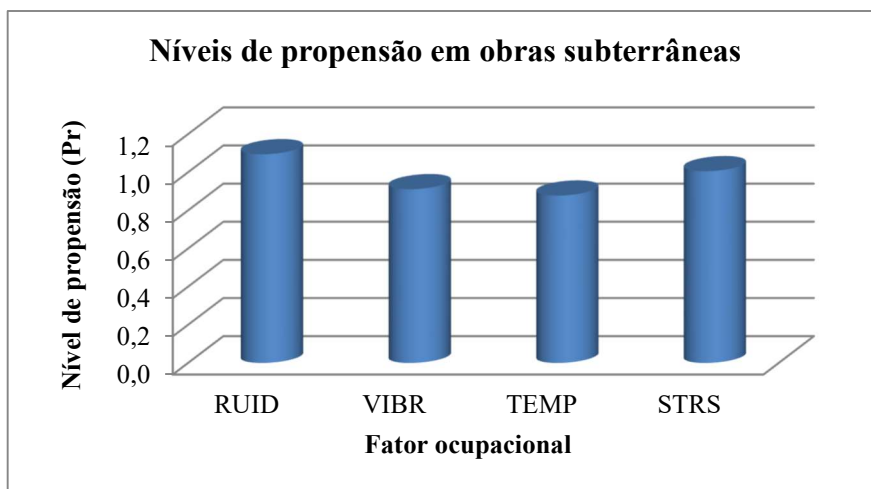


Fig.101-Níveis de propensão em obras subterrâneas

R14 - Os fatores ocupacionais com maior propensão para ocorrer em obras subterrâneas são, por ordem decrescente: RUID, STRS, VIBR e TEMP.

A avaliação apresentou valores de Pr bastante díspares consoante o fator ocupacional. Salienta-se o valor de Pr atribuído a RUID (Pr=1,09), não muito distanciado do segundo, STRS (Pr=1,01). No nível de Pr mais inferior, salientam-se VIBR (Pr=0,91) e TEMP (Pr=0,88).

Q15 - Qual dos métodos de escavação subterrânea apresenta maior tendência para a existência de condições propícias ao surgimento dos fatores ocupacionais identificados?

Na Figura 102, indica-se a dispersão de opiniões quanto à hierarquização dos fatores ocupacionais.

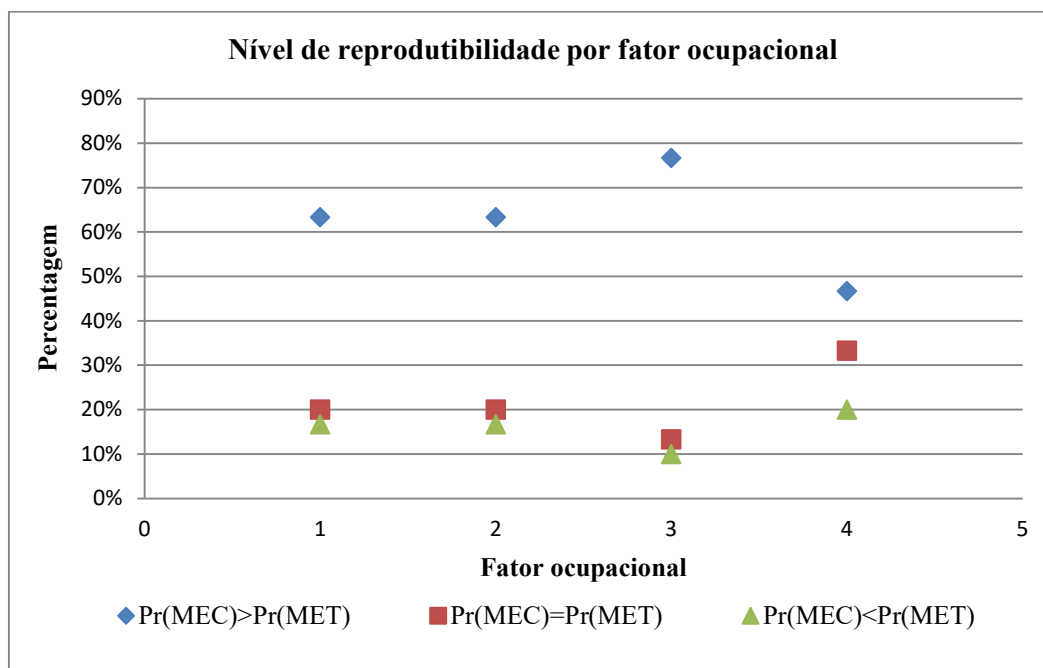


Fig.102-Nível de reprodutibilidade por fator ocupacional

A valorização é diferente para cada um dos riscos, sendo que esta diferença é bastante relevante em alguns. Em todos os riscos, a opinião da maioria dos inquiridos foi que o MEC tem um Nr mais elevado. Em quase todos os fatores ocupacionais, as opiniões foram de maioria absoluta. Tal não aconteceu em STRS, em que a maioria foi simples. Em nenhum dos fatores ocupacionais o MEC < MET aparece como superior a MEC = MET. No capítulo 9, será discutida a dispersão atribuída a cada um dos fatores ocupacionais.

Em termos de reprodutibilidade, ou seja fiabilidade via inter-analista, verifica-se que os dados obtidos revelam consensualidade (maior do que no caso dos riscos) entre os avaliadores quanto ao método que apresenta um Nr mais elevado. Na perspetiva qualitativa, o WTF apresenta uma dispersão limitada, facto que garante credibilidade, através de fiabilidade, dos dados obtidos. Refira-se, no entanto, que se fica com a perceção de que os valores obtidos são algo baixos, embora menores do que no caso dos 12 riscos avaliados.

Numa perspetiva quantitativa, e agregando os Pr médios atribuídos para cada método, chega-se à conclusão de que o MEC é avaliado com um Pr superior a MET (Figura 103).

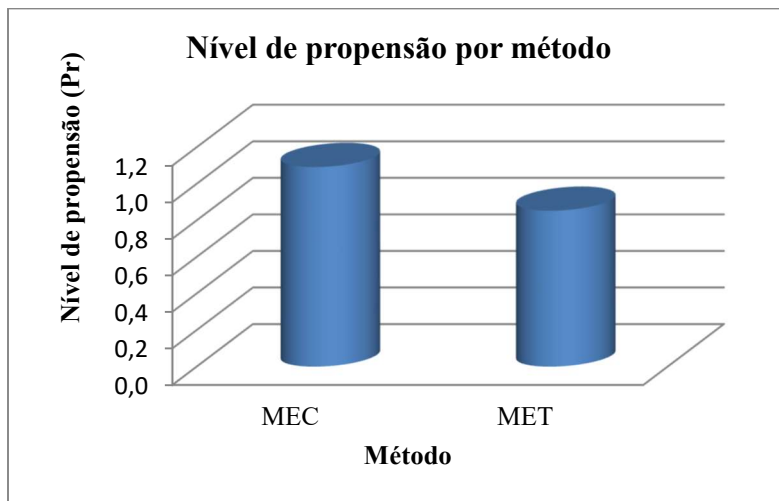


Fig.103-Nível de propensão por método

R15 - O método de escavação que apresenta níveis de propensão de fatores ocupacionais mais elevados (na ordem dos 22%) é o MEC.

Verifica-se que o valor total de Pr atribuído ao MEC ($Pr=1,1$) apresenta uma diferença bastante relevante do atribuído ao MET ($Pr=0,9$).

As principais razões que o autor encontrou para ter sido atribuído um nível de Pr superior ao MEC serão discutidas posteriormente no capítulo 9, para cada um dos riscos.

Q16 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão para ocorrerem em cada método de escavação?

A Figura 104 apresenta a decomposição de níveis de propensão por método.

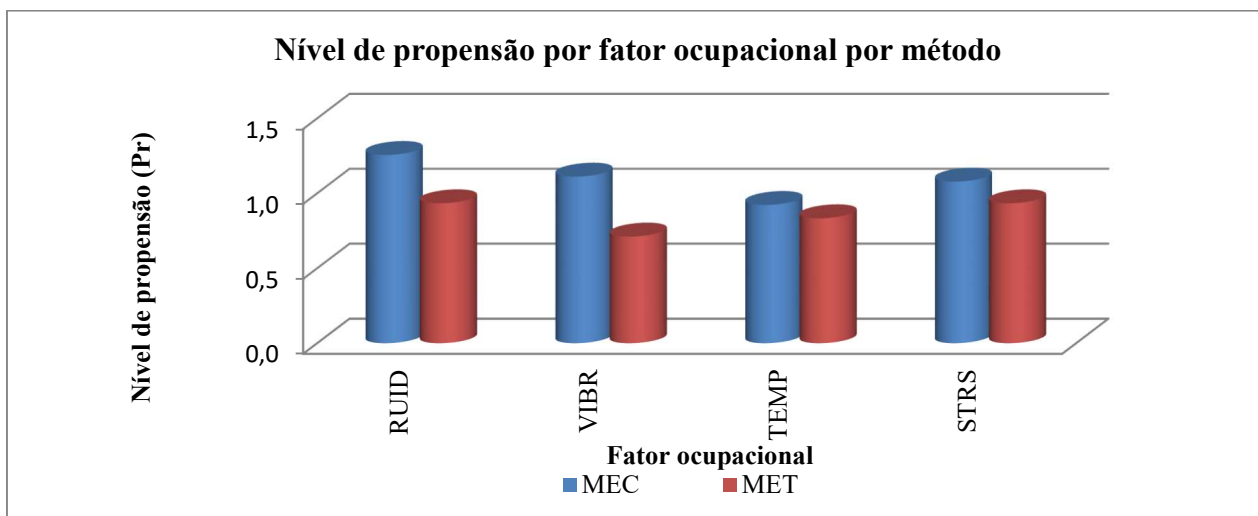


Fig.104-Nível de propensão por fator ocupacional, por método

Em todos os riscos, a maioria dos inquiridos atribuiu ao MEC um Pr mais elevado que ao MET.

Em RUID e VIBR, verifica-se que as diferenças percentuais são muito relevantes.

Na Figura 105, indicam-se as diferenças percentuais entre os Nr dos dois métodos.

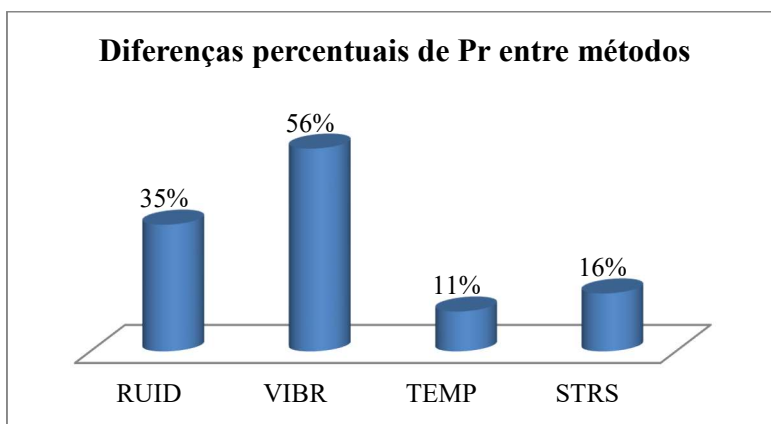


Fig.105-Diferenças percentuais de Pr entre métodos

Em termos de diferenças percentuais entre os níveis de propensão de fatores ocupacionais presentes nos dois métodos, nota-se uma elevada disparidade, sendo que os valores das diferenças percentuais se situam entre os 11% (TEMP) e os 56% (VIBR).

R16 - Os fatores ocupacionais com maior propensão de ocorrer em cada método de escavação são: a) MEC: RUID e VIBR; b) MET: STRS e RUID

As hierarquizações de fatores ocupacionais apresentam algumas diferenças entre métodos. Em todos os fatores ocupacionais, o nível de propensão de ocorrência de fatores ocupacionais é mais alto no MEC do que no MET. As principais razões porque o MEC apresenta níveis de Pr superiores serão discutidas posteriormente, para cada um dos fatores ocupacionais em separado.

Q17 - Qual das fases de trabalho tem maiores níveis de propensão de risco, em cada um dos métodos?

Na Figura 106, indica-se a propensão por fase de trabalho, por método.

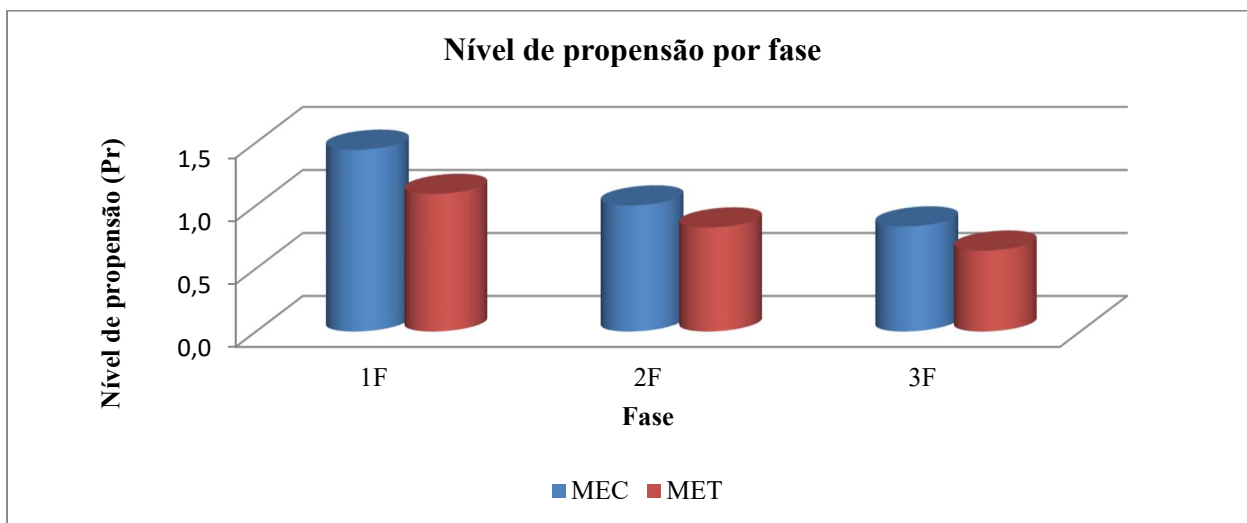


Fig.106-Níveis de propensão por fase

R17 - As fases de trabalho que têm maiores níveis de propensão de risco, em cada um dos métodos, são a 1ª fase, seguida da 2ª fase e, por último, a 3ª fase, algo que se verifica nos dois métodos.

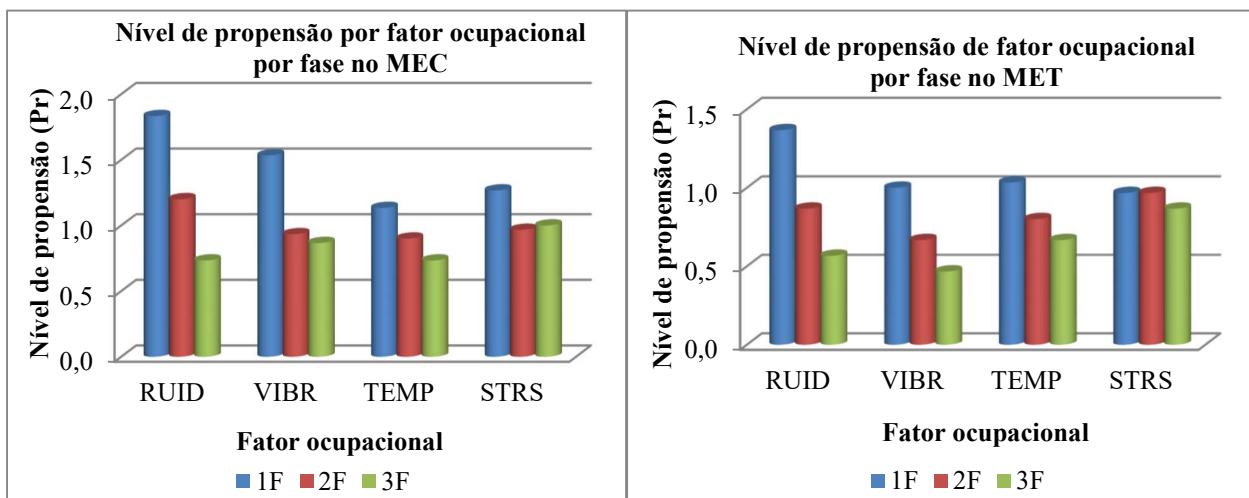
O MEC apresenta, nas três fases, níveis de risco notoriamente superiores ao MET, decrescendo a diferença de Pr da 1ª para a 3ª fase.

No caso no MEC, a 1F apresenta um valor total de Pr de 1,4, a 2F de 1,0 e a 3F de 0,8.

No caso no MET, os valores são mais baixos do que no caso do MEC: a 1F apresenta um valor total de Pr de 1,1, a 2F de 0,8 e a 3F de 0,6.

Q18 - Quais os fatores ocupacionais mais propensos, por método e por fase de trabalho?

Nas Figuras 107a) e b), indicam-se os riscos, por fases e por método.



Figs.107 a) e b)-Níveis de propensão, por fase, no MEC e no MET

R18 - Os fatores ocupacionais mais propensos, por método e por fase de trabalho, são:

a) MEC: 1ª fase- RUID; 2ª fase - RUID, STRS; 3ª fase - STRS, VIBR;

b) MET - 1ª fase - RUID, TEMP; 2ª fase - STRS, RUID; 3ª fase - STRS, TEMP.

A valorização é bastante diferente tendo em conta os fatores ocupacionais e as fases que estão a ser estudados. O fator ocupacional RUID sobressai nitidamente relativamente aos restantes no tocante à sua elevada magnitude no MEC.

Q19 - Quais os fatores ocupacionais que apresentam, em cada método e para cada uma das fases, níveis não toleráveis?

Importa agora analisar quais as fases de trabalho em que os fatores ocupacionais foram considerados como não toleráveis. Lembra-se a tabela de magnitude de risco, exposta no capítulo sobre a metodologia aplicada e que agora se replica na Tabela 48, e a sua interligação com as condições existentes para continuação de trabalhos.

Tab.48-Magnitude (Pr), classificação de propensão e prioridade de intervenção

Propensão (Pr)	MPB estipuladas são suficientes para continuar a tarefa em segurança?
Entre 1,3 e 2	Não
Entre 0,7 e 1,3	Sim
Menor que 0,7	Sim

Na Tabela 49, resumem-se os resultados obtidos.

Tab.49-Tolerabilidade de fatores ocupacionais (Pr)

Fator ocup./ Fase	MEC			MET		
	1F	2F	3F	1F	2F	3F
RUID	1,8	1,2	0,7	1,4	0,9	0,6
VIBR	1,5	0,9	0,9	1,0	0,7	0,5
TEMP	1,1	0,9	0,7	1,0	0,8	0,7
STRS	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9

Verifica-se que algumas das fases possuem um Pr não tolerável. Desta constatação, é possível deduzir que as medidas preventivas base estipuladas não se revelam suficientes para a minimização dos fatores ocupacionais existentes. Assim, deverão ser tomadas medidas preventivas adicionais, com o objetivo de reduzir o Pr para níveis toleráveis.

R19 - Os fatores ocupacionais que apresentam, em cada método, níveis não toleráveis são:

MEC - 1ª FASE - RUID, VIBR, STRS

MET - 1ª FASE - RUID

Q20 - Quais as medidas preventivas estado da arte que apresentam um nível de pertinência de implementação bastante relevante?

Importa agora analisar quais as medidas preventivas que foram consideradas como induzindo uma redução bastante relevante no nível de riscos. Relembra-se a tabela de avaliação de redução de riscos, exposta no capítulo sobre a metodologia aplicada e que agora se replica na Tabela 50.

Tab.50-Avaliação de redução de riscos (Rr)

Grau de Redução	Classificação
Entre 1,5 e 2	Redução bastante relevante
Entre 0,5 e 1,5	Redução razoável
Menor que 0,5	Redução irrelevante

Na Tabela 51, resumem-se os resultados obtidos.

Tab.51-Índice de redução de risco (Rr)

RISCO	MP	Rr
ELEC	Pessoa competente designada para intervenções em rede elétrica	1,57
DIES	Combustíveis de locomoção alternativos	1,60
DIES	<i>Scrubbers</i>	1,43
QUIM	Guia de classificação de produtos químicos	1,17
INCN	Vigilante de fogo	1,23
INCN	Barreiras de água ao longo do túnel	1,60
POEI	Equipamento para purificação de ar (<i>deduster</i>)	1,60
POEI	Cabine fechada em robô de projeção	1,47
RUTR	Equipamento para medição de espessura de tubagens	1,20
RUTR	Proteção adicional a tubagens	1,57
BLOC	<i>Lasershell</i>	1,10
BLOC	Zonas de exclusão	1,57
CLPS	Verificação periódica de estruturas temporárias de montagem de revestimentos definitivos	1,43
CLPS	Proteção de bordadura de taludes	1,43
QUED	Aplicação de impermeabilização com <i>sprays</i>	1,30
QUED	Utilização de pisos antiderrapantes	1,47
MUSC	Mecanização total da aplicação de dispositivos de estabilização	1,47
MUSC	Sinalização de movimentação de cargas	1,07
ATRP	Dispositivo de deteção de pessoas	1,47
ATRP	Utilização de plataformas suspensas	1,50
BIOL	Reforço de hábitos de higiene pessoal	1,10
RUID	Equipamentos <i>Bluetooth</i>	1,53
RUID	Refúgios de ruído	1,13
VIBR	Betonagem de soleira de pavimentos	1,50
VIBR	Medidor de pulso	0,83
TEMP	Zonas de refúgio	1,07
STRS	Gestão de fadiga	1,07

Verifica-se que os valores atribuídos pelos inquiridos são bastante díspares de MP para MP, evidenciando que algumas das MP propostas apresentam efetivamente uma maior pertinência de implementação.

R20 - As medidas preventivas que apresentam níveis de pertinência bastante relevantes são:

- Pessoa competente designada para intervenções em rede elétrica
- Combustíveis de locomoção alternativos
- Barreiras de água ao longo do túnel
- Equipamento para purificação de ar (*deduster*)
- Proteção adicional a tubagens
- Zonas de exclusão
- Utilização de plataformas suspensas
- Equipamentos *Bluetooth*
- Betonagem de soleira de pavimentos

9. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

9.1. Introdução

Neste capítulo, serão discutidos os resultados. A estrutura de apresentação, para cada risco e fator ocupacional, será a seguinte:

- Indicação de risco/fator ocupacional;
- *Ranking* em cada um dos métodos (lugar e valor de Nr ou Pr, conforme seja aplicável);
- Razões pelas quais o autor, tendo em conta a sua própria experiência (em diversas obras subterrâneas) considera que um dos métodos pode apresentar valores de Nr ou Pr superiores ao outro método. Quanto ao registo fotográfico incluído na abordagem a cada risco, optou-se por apresentar fotografias alusivas aos casos práticos analisados, versando as diversas tarefas associadas aos dois métodos, que maximizassem o entendimento da justificação descrita;
- Abordagem a Nr ou Pr por fases de trabalho, indicando, para cada método, quais as hierarquizações de fases por risco bem como a tendência geral no método. Adicionalmente comentou-se a tolerabilidade de Nr e Pr obtidos;
- Abordagem de influência de cenários (Ir), indicando, para cada método, quais os cenários que mais influenciam, bem como a tendência geral;
- Análise redução de risco imposta por medidas preventivas, consideradas “Estado da Arte”, para minimização de riscos identificados.

9.2. Observações gerais

O facto de o MEC apresentar, na globalidade, níveis de Nr e Pr superiores ao MET, pode ser justificado pelo elevado número de trabalhadores associados a este método, levando a uma elevada exposição ao risco a vários níveis. Outras razões se levantam, sendo expostas nos sub-capítulos seguintes.

No que se refere a fases de trabalho, os elevados riscos na 1F podem ser justificados porque os trabalhadores se encontram mais sujeitos aos efeitos dos riscos – pela natureza dos trabalhos, pelos equipamentos envolvidos e pelo tipo de ambiente subterrâneo.

No que se refere a cenários, a elevada influência atribuída ao C2 pode ser vista como um sinal de que a simultaneidade de trabalhos tem o risco de induzir pressa e conseqüente desatenção em operações relacionadas com a construção propriamente dita, mas também com a própria circulação em estaleiro e com as atividades de manutenção ou reparação.

9.3. Eletrização/eletrocussão

9.3.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 6º lugar (Nr=195) / MET - *Ranking* - 6º lugar (Nr=147)

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (63,3%) revela uma concordância relevante. Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, no meio da tabela; no caso do MET, no meio da tabela. Relativamente a estudos anteriores do autor, o presente posicionamento hierárquico deste risco aparece num lugar de menos de relevo, ou seja, com um Nr mais baixo que os restantes.

A diferença percentual (32%) obtida entre os valores de Nr é relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível da natureza das instalações elétricas provisórias e do seu posicionamento.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC: As instalações elétricas de apoio a escavação, mais numerosas [2] (logo mais acessíveis) não dispõem de local nem forma fixa para movimentação (Figura 108) (habitualmente manual).

MET: As instalações provisórias têm, na sua maior parte, uma forma e lugar fixo, dado pertencerem à estrutura da tuneladora, não sendo necessária a movimentação manual (Figura 109).



Fig.108-Quadro elétrico parcial [31]



Fig.109-Instalações elétricas da tuneladora [127]

MEC: As instalações elétricas provisórias encontram-se sujeitas a impactos de equipamentos, agentes físicos e químicos ou materiais (blocos, varões, cofragens, etc.) (Figura 110).

MET: As instalações elétricas integram a tuneladora e o seu posicionamento salvaguarda-as dos impactos dos referidos agentes, equipamentos e materiais [127] (Figura 111).



Fig.110-Cabo elétrico sujeito a dano [31]



Fig.111- Instalações elétricas da tuneladora [127]

MEC: O cabo de alta tensão para abastecimento a posto de transformação é fixo nos hasteais não betonados (Figura 112), sendo reposicionado aquando da realização de revestimentos definitivos.

MET: O cabo de alta tensão para abastecimento a frente de escavação encontra-se fixo nos hasteais já betonados (Figura 113), evitando a sua desmontagem.



Fig.112-Cabo de abastecimento [31]



Fig.113-Cabo elétrico retrátil [58]

MEC: O método implica a existência de circuitos de iluminação provisórios, que são avançados manualmente à medida do avanço da escavação, e que têm fragilidade estrutural (Figura 114).

MET: O circuito de iluminação é pertença da tuneladora, menos sujeito a danos, e o seu avanço é realizado conjuntamente com tuneladora (Figura 115).



Fig.114-Projetor de iluminação provisório [31]



Fig.115-Cabos de iluminação [127]

MEC: Cada estrutura móvel para revestimento definitivo necessita de instalações dedicadas (Figura 116), o que cria algumas dificuldades de compatibilização entre as diversas estruturas temporárias em utilização (impermeabilização, armaduras, cofragem/betonagem).

MET: A aplicação de revestimento definitivo não carece de instalações elétricas dedicadas, dado a colocação de aduelas ser via mecânica/hidráulica (Figura 117).



Fig.116-Quadro elétrico dedicado [31]



Fig.117-Aplicação de aduela [206]

MEC: A instalação de sistemas de impermeabilização e montagem de armaduras obriga à utilização de ferramentas elétricas, por ex., para soldadura de telas (Figura 118) ou corte de varões.

MET: A instalação de revestimento definitivo não implica a utilização de ferramentas elétricas para além das necessárias à solidarização de aduelas após o posicionamento (Figura 119).



Fig.118-Montagem de telas [31]



Fig.119-Posicionamento de aduelas[236]

MEC: A energia eletrostática, pela passagem de poeiras e gases pelo sistema de ventilação [108], pode ter maior dificuldade em escoar, devido à ausência de contacto com terra (Figura 120).

MET: As mangas de ventilação encontram-se interligadas à tuneladora (Figura 121), facilitando o escoamento de energia eletrostática.



Fig.120-Mangas de ventilação[31]



Fig.121-Mangas rígidas de ventilação [58]

9.3.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(1F)=220)>(Nr(2F)=202)>(Nr(3F)=164). Tendência global Nr(1F)>Nr(2F)>Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a 1F como a fase com mais elevado risco, não tolerável, que pode ser justificado pelo elevado número de infraestruturas elétricas que esta fase necessita. Esta hierarquização posiciona a 3F num patamar de risco, não tolerável e mais elevado que a 2F, facto que poderá dever-se à maior necessidade de utilização e mobilidade de instalações elétricas na 3F do que em 2F.

b) MET-(Nr(1F)=191)>(Nr(3F)=131)>(Nr(2F)=117). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco confirma a 1F como a fase com mais elevado risco, ainda que tolerável, que pode ser justificado, tal como no MEC, pelas infraestruturas elétricas necessárias. Esta hierarquização posiciona a 3F num nível mais elevado que a 2F, facto que poderá dever-se à necessidade de utilização e mobilização de instalações elétricas na 3F, o que não acontece na 2F.

9.3.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C1)=1,7)>(Ir(C2)=1,4)>(Ir(C3)=1,0). Tendência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência atribuída pelos inquiridos contraria a hierarquização geral, posicionando o C1 como mais relevante que o C2 e C3. A influência atribuída a C1, não tolerável, pode justificar-se por um maciço mais fragilizado poder potenciar a queda de blocos, que podem danificar componentes do sistema elétrico. A afluência de água proveniente do maciço pode, também, ser suficiente para provocar um ambiente húmido [80] que afete as instalações elétricas [2]. A influência atribuída a C2, não tolerável, pode explicar-se pela simultaneidade de tarefas poder induzir maior rapidez nas intervenções em sistema elétrico, existindo o risco de as ligações não serem devidamente realizadas. Além disso, os trabalhadores tendem a facilitar em termos de manutenção, implicando que os cabos de abastecimento a frente de escavação sejam reposicionados, ainda em tensão, durante a passagem de execução de revestimento definitivo.

b) MET-(Ir(C1)=1,3)>(Ir(C2)=1,1)>(Ir(C3)=0,0). Influência global (Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3))

A hierarquização de influência atribuída pelos inquiridos contraria a hierarquização geral, posicionando o C1 como mais relevante que C2. A influência cimeira atribuída a C1, não tolerável, pode justificar-se com o facto de um maciço mais fragilizado ou com água poder propiciar danos à instalação elétrica, por contacto direto ou por ação da humidade.

9.3.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: Muitos dos riscos elétricos advêm do manuseamento de instalações elétricas por quem não é autorizado para tal. Dá-se o exemplo típico, em que o quadro elétrico parcial se desliga por ativação de diferenciais de proteção, sendo ativado por alguém próximo do local, em vez de se esperar pelo piquete de

manutenção, para evitar atrasos ou interrupção de processo produtivo. Isto pode provocar ligação inadvertida de equipamentos em tensão.

Medida preventiva proposta: Pessoa designada especificamente para intervenções em rede elétrica. A existência de eletricitistas que, para além da competência necessária, sejam designados específica e nominalmente para intervenções de montagem, reparação, manutenção e desmontagem de rede elétrica, permite garantir que a intervenção se encontra restringida apenas ao pessoal credenciado e equipado para tal. Este elemento deverá ser nomeado através de um documento de gestão, tal como uma autorização de trabalho, instrumento recomendado para trabalhos com risco elevado [108]. A autorização de trabalho (Figura 122) engloba os detalhes da tarefa a realizar e os procedimentos de consignação - evitando o risco de o equipamento estar energizado [323] ou ser ativado por fontes de energia externas - e obriga, assim, ao preenchimento específico deste documento, pela pessoa nomeada para o efeito, antes do início dos trabalhos.

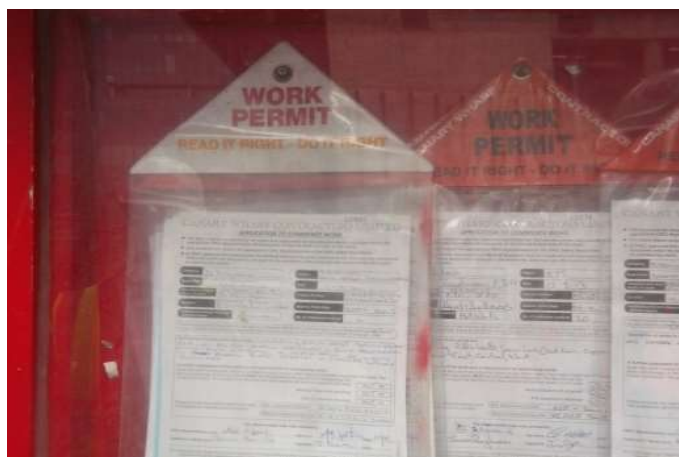


Fig.122-Autorização de trabalho [281]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,5$) revela-se como bastante relevante, indiciando que a sua implementação é pertinente.

9.4. Inalação de gases provenientes de motores a gasóleo

9.4.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 9º lugar - Nr=147 / MET - *Ranking* - 9º lugar - Nr=97

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC(63,3%) revela uma concordância relevante. Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, no meio da tabela; no caso do MET, no meio da tabela. A diferença percentual (52%) obtida entre os valores de Nr é muito relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente em termos dos equipamentos utilizados.

Analisam-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC: A carga de escombros é realizada com equipamentos movidos a diesel (p.ex.giratória) (Figura 123).

MET: A carga de escombros é realizada através de cabeça de corte, não movida a diesel (Figura 124).



Fig.123-Carga de *dumper* com escombros[31]



Fig.124-Interior de cabeça de corte[58]

MEC: O transporte de escombros da face de escavação para o exterior é realizado com equipamentos móveis a diesel (por ex., giratória ou pá carregadora) (Figura 125).

MET: O transporte de escombros da tuneladora para o exterior é realizado com locomotivas elétricas ou a diesel (Figura 126), sendo os equipamentos utilizados em menor número do que no MEC.



Fig.125-Carregamento de escombros [31]



Fig.126-Locomotiva de transporte [127]

MEC: O betão para projeção chega à frente de escavação, para abastecimento de robô de projeção, através de autobetoneiras a diesel (Figura 127).

MET: O betão para projeção chega à frente de escavação através de tambores (Figura 128).



Fig.127-Descarga de betão [31]



Fig.128-Tambor transporte de betão[324]

MEC: O saneamento manual e mecânico são, respetivamente, realizados a partir de escavadoras giratórias e multicarregadoras a diesel (Figura 129).

MET: O saneamento manual é realizado a partir de meios elevatórios que integram permanentemente a estrutura da tuneladora (Figura 130).



Fig.129-Saneamento mecânico [31]



Fig.130-Plataformas de trabalho [236]

MEC: A montagem de dispositivos de estabilização em altura é realizada a partir de meios elevatórios movidos a diesel (Figura 131).

MET: A montagem de dispositivos de estabilização em altura é realizada a partir de plataformas que integram permanentemente a estrutura da tuneladora (Figura 132).



Fig.131-Plataforma elevatória [324]



Fig.132-Plataforma aplicação de pregagens [319]

MEC:A cofragem, betonagem e descofragem do rebaixo são realizadas com apoio de equipamentos móveis a gás (autobetoneiras, meios elevatórios, etc.) (Figura 133).

MET: A secção transversal de túnel não dispõe de rebaixo (Figura 134).



Fig.133-Cofragem de rebaixo[31]



Fig.134-Cabeça de corte [325]

MEC:Os materiais para execução de impermeabilização, armaduras e cofragem chegam a frentes de obra através de equipamentos a diesel (Figura 135).

MET: Para o revestimento definitivo, para além da aduela (Figura 136), não é necessária a chegada de um relevante volume de materiais a frentes de obra.



Fig.135-Chegada de painéis de cofragem a obra[31]



Fig.136-Chegada de aduelas a obra [319]

MEC: Quando a secção transversal apresenta saliências que não permitem a instalação de impermeabilização, têm de ser demolidas com equipamentos geralmente a diesel (Figura 137).

MET: A secção transversal dispõe de um grau menor de irregularidade na escavação e a forma da cabeça de corte não permite que existam saliências (Figura 138).



Fig.137-Picagem de saliências [31]



Fig.138-Forma circular de cabeça de corte [205]

MEC: O betão para revestimento definitivo é distribuído por autobetoneiras a diesel e é bombado com bombas a diesel (Figura 139).

MET: A aduela chega à frente de obra já betonada e através de equipamentos elétricos ou a diesel. (Figura 140).



Fig.139-Distribuição de betão [31]



Fig.140-Aduela pré-fabricada [277]

MEC: Utilização, em diversas fases de ciclo de escavação/ revestimento definitivo, de diversos meios de produção de energia, como geradores ou compressores, a gasóleo (Figura 141).

MET: Utilização de um menor número de dispositivos de geração de energia movidos a gasóleo, sendo a maior parte de origem elétrica (Figura 142).



Fig.141- Gerador [31]



Fig.142-Quadros elétricos em tuneladora [127]

9.4.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC

(Nr(1F)=228)>(Nr(2F)=133)>(Nr(3F)=79). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. O nível de risco de 1F, não tolerável, explica-se com a elevada quantidade de equipamentos móveis (*dumpers*, camiões, pá carregadora, etc.) utilizados nesta fase.

b) MET

(Nr(1F)=138)>(Nr(2F)=83)>(Nr(3F)=70). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. O posicionamento de 1F pode estar relacionado com o movimento de equipamentos a diesel associados a esta fase e inexistentes nas restantes.

9.4.3. Análise de influência de cenários

a) MEC

$(I_r(C2)=1,4) > (I_r(C3)=0,9) > (I_r(C1)=0,3)$. Tendência global $I_r(C2) > I_r(C3) > I_r(C1)$

A hierarquização de influência confirma a tendência geral. A influência cimeira e não tolerável atribuída a C2 pode justificar-se com o facto de os equipamentos móveis terem de atravessar a zona de revestimentos definitivos (onde estarão, simultaneamente, a decorrer trabalhos) durante o transporte de escombros para o exterior, bem como as autobetoneiras para betão projetado, aumentando assim o volume de poluentes de atmosfera interior [154]. Salienta-se também que, se a opção de esquema de ventilação for a insuflação, o ar insuflado percorrerá zonas de trabalho aquando do seu percurso até ao emboquilhamento.

b) MET

$I_r(C2)=1,2) > (I_r(C1)=0,3) > (I_r(C3)=0,0)$. Tendência global $I_r(C2) > I_r(C1) > I_r(C3)$

A hierarquização de influência confirma a tendência geral. A posição cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com a utilização de maior número de equipamentos de transporte, de materiais e trabalhadores, a diesel, decorrentes de um maior afluxo de trabalhadores e materiais a frentes de obra.

9.4.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Atualmente, o gasóleo é o meio de combustão mais eficiente para transporte, devido a eficiente taxa conversão [326]. No entanto, emite CO_x , NO_x , SO_2 e partículas contribuidoras para problemas respiratórios [327]. Ainda que se utilizem equipamentos novos, com a devida manutenção [290], filtros de partículas (um dos meios mais eficientes para as reduzir) [126], ou abertura de diversas frentes de escavação para reduzir distâncias de transporte [122], a utilização de combustível diesel mantém-se.

Medida Preventiva proposta: Meio de locomoção alternativo—biodiesel ou a eletricidade

A sociedade está a fazer pressão para adoção de alternativas de combustível mais sustentáveis [328], por ex., combustível menos poluente ou eletricidade, como meio de locomoção. Os combustíveis alternativos, como o biodiesel, obtidos a partir de reação química de óleos ou gorduras de origem animal ou vegetal [329], emitem menos NO e CO [328]. Os equipamentos movidos a energia elétrica [290] (Figura 143) minimizam a emissão de gases [135], propiciando também um menor nível de ruído, calor e de risco de incêndio, dado não utilizarem óleos inflamáveis [77]. A instalação antecipada de energia elétrica definitiva, se possível, facilita o abastecimento de energia elétrica a equipamentos [330].



Fig.143-Pá carregadora movida a eletricidade [331]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,6$) revela-se como bastante relevante indiciando que a sua implementação é muito pertinente.

Medida Preventiva proposta: *Scrubber*

O *scrubber* (Figura 144) é um dispositivo de limpeza de gases, usado para remover partículas de correntes de ar contaminado. O ar contaminado entra no *scrubber*, que promove a separação de partículas por via húmida (existe um contacto direto entre água pulverizada e o ar contaminado) ou por via seca, no caso de ser necessário retirar gases ácidos de corrente de gás (não existe contacto de água com gases, mas sim de reagentes). Os desperdícios podem ser sob a forma líquida, sólida ou pó.



Fig.144-Scrubber [332]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,43$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação não é de elevada pertinência.

9.5. Inalação de gases provenientes de incêndio

9.5.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 8º lugar - Nr=162 / MET - *Ranking* - 4º lugar - Nr=170 (saliente-se que o MEC assume valores de Nr mais altos na 1F e 2F).

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (46,7%) revela uma concordância relevante. Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, no meio da tabela; no caso do MET, em quarto lugar. Os resultados agora obtidos reforçam os resultados anteriores do autor no que se refere ao posicionamento de INCN como um dos maiores riscos presentes no MET. Este posicionamento pode ser justificado com a elevada quantidade de infraestruturas elétricas e hidráulicas necessárias ao funcionamento da tuneladora e aos materiais combustíveis utilizados. A diferença percentual (5%) obtida entre os valores de Nr é bastante reduzida. O posicionamento cimeiro deste risco na 1ª fase do MET pode ser explicado pela elevada quantidade de infra-estruturas pertencentes a tuneladora e necessárias para realizar a escavação.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar as avaliações atribuídas pelos inquiridos.

MEC: Utilização de bastantes equipamentos móveis para escavação, com uma grande quantidade de infraestruturas mecânicas e elétricas, bem como peças (pneus, tubos, etc) (Figura 145)

MET: O número de equipamentos necessários é menor, no entanto a tuneladora possui um conjunto relevante de infraestruturas fixas (Figura 146) necessárias ao seu funcionamento.



Fig.145-Equipamentos móveis [277]



Fig.146-Infra-estruturas eletromecânicas [127]

MEC: As soluções de estabilização geram bastantes resíduos, designadamente sacos de cimento (Figura 147), que não possuem um local fixo para arrumação.

MET: A organização de espaços e locais reservados para resíduos é mais objetiva e crucial, dado ser um único equipamento com locais de trabalho e acessos bem definidos (Figura 148).



Fig.147-Sacos de cimento para estabilização [31]



Fig.148-Plataformas de circulação [127]

MEC: Utilização de bastantes matérias-primas combustíveis, designadamente à base de plásticos (tela, rolo, geotêxtil) (Figura 149) para realizar sistemas de impermeabilização.

MET: Este método construtivo não implica montagem de sistema de impermeabilização (Figura 150).



Fig.149-Telas geotêxteis [31]



Fig.150-Revestimento final [236]

MEC: Para a aplicação de impermeabilização, é necessária a realização de diversos trabalhos a quente, por ex., termo-soldaduras para união de panos de tela (Figura 151).

MET: Na aplicação de aduela pré-fabricada, não são necessários trabalhos a quente, dado a aplicação ser direta e com meios mecânicos (Figura 152).



Fig.151-Termossoldadura [31]



Fig.152-Aplicação de aduela [58]

MEC:Para a montagem de armaduras, é necessária a realização de diversos trabalhos a quente, por ex., corte de varões (Figura 153), com produção de chispas.

MET: O método construtivo não implica realização de trabalhos de corte ou soldadura no interior do túnel, dado que a aduela é preparada no exterior e aplicada diretamente (Figura 154).



Fig.153-Corte de varões para armaduras [31]



Fig.154-Aduela aplicada [277]

MEC: Para a realização de cofragem de molde de betão, é necessária a realização de diversos trabalhos a quente, por ex. corte de peças de madeira para molde de cofragem (Figura 155).

MET: A cofragem é realizada no exterior em ambiente mais industrializado (Figura 156).



Fig.155-Corte de peças de madeira [31]



Fig.156-Cofragem aduelas [319]

MEC: A montagem de revestimentos definitivos gera um elevado volume de resíduos combustíveis (por ex., rolos de geotêxtil ou telas, peças de madeira de cofragem, etc.) (Figura 157).

MET: Os revestimentos definitivos não geram resíduos no interior do túnel, dado a aduela ser feita no exterior. No entanto, a manutenção da tuneladora gera um elevado volume de resíduos (Figura 158).



Fig.157-Resíduos de telas [31]



Fig.158-Resíduos gerados [127]

MEC: As diversas instalações elétricas provisórias (Figura 159) acarretam riscos de incêndio, devido a sobrecargas, curto-circuitos ou outros problemas.

MET: O volume de instalações elétricas é menor. As existentes, parte integrante da tuneladora, têm uma disposição menos propícia a degradação ou uso incorreto (Figura 160).



Fig.159-Quadro elétrico junto a face de escavação [31]



Fig.160-Instalações elétricas em tuneladora [127]

9.5.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(1F)=188>(Nr(3F)=181)>(Nr(2F)=117). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a 1F como sendo a fase com mais elevado risco e posiciona a 3F num patamar de risco mais elevado do que a 2F. O posicionamento de 1F pode ser justificado com o sobreaquecimento de equipamentos móveis e o posicionamento de 3F pode dever-se à grande quantidade de materiais combustíveis utilizados para realização de revestimentos definitivos, tais como telas ou peças de cofragem.

b) MET-(Nr(1F)=242)>(Nr(2F)=140)>(Nr(3F)=128). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. O nível de risco atribuído a 1F, não tolerável, pode ser justificado pela quantidade de infraestruturas elétricas necessárias ao avanço da tuneladora.

9.5.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C2)=1,1)>(Ir(C3)=1,1)>(Ir(C1)=0,3). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência confirma a influência global. A posição cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com o facto de a simultaneidade de trabalhos poder impor alguma pressão na realização dos que envolvem combustíveis (e respetiva produção de resíduos, que pode tender a não ser realizada corretamente) e fontes de ignição. Adicionalmente, um incêndio ocorrido junto a face de escavação pode trazer problemas relevantes para zonas daí afastadas e por onde nuvem de gases possa passar. O facto de o C3 ser avaliado como mais influente que o C1 pode ser justificado com a quantidade de resíduos provenientes de embalagens de detonadores e explosivos.

b) MET-(Ir(C2)=0,8)> (Ir(C1)=0,2)>(Ir(C3)=0,0). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência contraria a hierarquização geral, colocando o C1 como mais relevante que C3. A posição cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com o facto de a simultaneidade de trabalhos poder impor alguma pressão na realização dos que envolvem combustíveis (e respetiva produção de resíduos, que pode tender a não ser realizada corretamente) e fontes de ignição.

9.5.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Nem sempre que um foco de fogo se apaga, fica apagado para sempre. Muitas vezes acontece que o fogo reacende, sem que as pessoas se apercebam da sua reativação e, conseqüentemente, são apanhadas de surpresa [128]. De salientar que esta situação pode ocorrer em locais onde ainda não exista, ou não esteja prevista, a instalação de sistemas de deteção e alarme de incêndio. Como consequência, ocorrerá a passagem de incêndio, e respetivos gases, para jusante da sua origem, contaminando essas zonas. Um dos meios de combate a incêndio de mais vulgar aplicação são os extintores que, embora úteis, apresentam a desvantagem de contaminar a atmosfera quando utilizados, e podem sempre ser insuficientes para os efeitos pretendidos. Por sua vez, o uso de brigadas de entidades externas pode ser ilusório, dado poderem não chegar no tempo pretendido para o socorro.

Medida preventiva proposta: Vigilante de fogo

A função “vigilante de fogo” (Figura 161) está prevista na BS6164 como um elemento que deve acompanhar os trabalhos que possam aumentar o risco de fogo. Este trabalhador, designado nominalmente (Figura 162), acompanha os trabalhos, verifica que o fogo fica apagado na hora, e mantém-se no local, munido de extintor, durante um determinado período de tempo, no mínimo 1h [132], depois de os trabalhos terem sido finalizados, para garantir que não ocorre qualquer ignição que reative o fogo [108]. Poderá haver casos em que este período seja maior. A utilização de observação remota poderá ser uma hipótese de monitorização.



Fig.161-Vigilante de fogo [277]



Fig.162-Indicação vigilantes fogo [281]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,23$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação não é de elevada pertinência.

Medida preventiva proposta: Barreiras de água ao longo do túnel

A barreira de água (Figura 163) permite, de uma forma rápida e em caso de emergência, controlar o espalhamento de fumo proveniente de fogo [108], havendo assim ganhos de tempo de ação [109]. É abastecida por uma rede armada com proteção contra choques [108], e funciona por decréscimo de temperatura de fumos com conseqüente diluição [109]. Há que atender ao diâmetro das gotas de água, que é um fator essencial na supressão, sendo que a eficiência aumenta à medida que o diâmetro diminui [333]. Esta rede armada pode também abastecer os hidrantes ao longo do túnel (Figura 164).



Fig.163-Cortina de água [127]



Fig.164-Coluna armada[58]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,60$) revela-se como bastante relevante, indicando que a sua implementação é muito pertinente.

9.6. Inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado

9.6.1. Análise comparativa

MEC – 7º lugar – Nr=170 / MET – 10º lugar – Nr=81

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (76,7%) revela uma concordância bastante relevante.

Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, no meio da tabela; no caso do MET, no fim da tabela. A diferença percentual (109%) obtida entre os valores de Nr é muitíssimo relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos designadamente ao nível do tipo de escavação realizada.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC: Não existe uma separação física entre a face de escavação e as restantes zonas de trabalho (Figura 165), permitindo a livre circulação de poeiras geradas pela escavação.

MET: A tuneladora dispõe de uma estrutura da cabeça de corte que, pela sua natureza física (Figura 166), impede a passagem fácil das poeiras para zonas afastadas da frente de escavação.



Fig.165-Ausência de separação face/zona trabalhos [31]



Fig.166-Interior de cabeça de corte [58]

MEC: A carga e remoção de escombros é feita por equipamentos móveis (pá carregadora, *dumpers*, etc), propícios a libertação de poeiras, designadamente se o escombro estiver seco (Figura 167).

MET: O escombro passa da cabeça de corte para locomotivas/tapetes transportadores (Figura 168), ou circuitos (*Slurry*), minimizando a dispersão de poluentes [98], salvo em pontos de transferência.



Fig.167-Carga e remoção de escombros [31]



Fig.168-Tapete transportador [319]

MEC: A granulometria dos resíduos depende do grau de fragmentação obtido, mas é tendencialmente grossa (Figura 1691). O impacto dos escombros no pavimento é relevante.

MET: A granulometria dos resíduos gerados é mais fina, devido à ação dos discos de corte (Figura 170), levando a uma maior criação de poeiras devido ao maior volume de finos [230].



Fig.169-Carregamento de escombro [31]



Fig.170-Resíduos gerados por disco de corte [325]

MEC: Durante o ciclo de escavação, os condutores manobreadores mantêm os vidros abertos [135] ou saem da cabine (Figura 171), isolada e vedada, ficando assim expostos a este risco.

MET: O operador da tuneladora encontra-se numa cabine fechada em zona resguardada de poeiras (Figura 172). No entanto, é habitual ter a porta aberta [135].



Fig.171-Manobrador fora de cabine [31]



Fig.172-Cabine de controlo [127]

MEC: Os equipamentos de remoção de escombro, no trajeto entre carga e descarga, provocam um segundo levantamento de poeiras, em pavimentos, designadamente secos [14] (Figura 173).

MET: O pavimento para remoção de escombros já possui aduelas, sendo mais regular do que no MEC, e não existe o volume de lamas que existe no MEC (Figura 174).



Fig.173-Circulação de *dumpers* [31]



Fig.174-Pavimento executado [334]

MEC: Não existe um meio que impeça o operador do robô de projeção de betão de aceder à zona de criação de poeiras (Figura 175).

MET: As plataformas onde o trabalhador se localiza para projetar betão são algo afastadas do ponto de projeção (Figura 176).

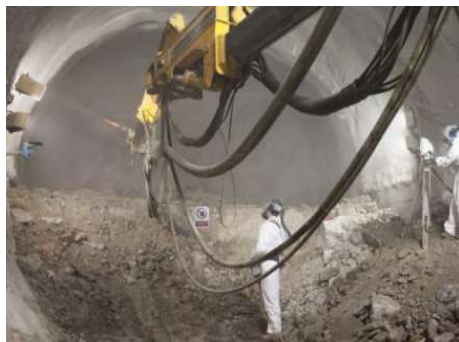


Fig.175-Projeção de betão [236]



Fig.176-Plataformas projeção [335]

MEC: As poeiras em circulação têm propensão para assentar gradualmente nos obstáculos que surgem [144], designadamente em hasteais, soleiras e equipamentos móveis (Figura 177).

MET: Ocorre o mesmo, mas a poeira tem mais locais de instalações fixas onde assentar, tal como nos apoios do tapete transportador (Figura 178).



Fig.177-Levantamento de poeiras em picagem [31]



Fig.178-Acumulação de poeiras em tapete [58]

9.6.2. Hierarquização por fases

a) MEC-(Nr(1F)=265)>(Nr(2F)=194)>(Nr(3F)=51). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. O nível de risco atribuído a 1F, não tolerável, pode ser justificado pelo elevado contacto com maciço existente nesta fase e que propicia a desagregação deste com criação de poeiras, qualquer que seja o método de escavação.

b) MET

(Nr(2F)=106)>(Nr(1F)=102)>(Nr(3F)=35). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 2F como mais elevada do que a 1F. Este facto pode decorrer da exposição elevada a poeiras de betão projetado na 2F, atividade inexistente na 1F.

9.6.3. Análise de influência de cenários

a) MEC

$(I_r(C2)=1,5) > (I_r(C3)=1,5) > (I_r(C1)=0,5)$. **Influência global $I_r(C2) > I_r(C3) > I_r(C1)$**

A hierarquização de influência posiciona o C2 ao mesmo nível que o C3, em primeiro lugar, *ex-aequo*. A influência cimeira atribuída a C2, não tolerável, pode justificar-se com o facto de as frentes afastadas de zona da escavação poderem ser atingidas por poeiras daí provenientes (quer do processo de escavação quer durante a remoção de escombros) ou a poeira acumulada em estruturas temporárias. A influência cimeira, também atribuída a C3, não tolerável, pode explicar-se com as poeiras criadas durante a pega de fogo e originadas pelo impacto do grande volume de maciço deslocado no solo.

b) MET

$(I_r(C2)=1,1) > (I_r(C1)=0,4) > (I_r(C3)=0,0)$. **Influência global $I_r(C2) > I_r(C1) > I_r(C3)$**

A hierarquização de influência confirma a tendência geral. A posição cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com o facto de as frentes afastadas de zona de escavação, onde se desenvolvem simultaneamente trabalhos, poderem ser atingidas por poeiras daí provenientes (quer do processo de escavação, quer durante a remoção de escombros).

9.6.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: Diversas medidas preventivas são habitualmente tomadas para minimizar a concentração de poeiras: aspersão de água nos escombros [151], nos discos de corte de tuneladora (que pode potenciar o seu entupimento), nas zonas de transferência de escombros [230] (podendo provocar escorregamento de material [145]); lavagem de hasteais e soleira [77]; barreiras de água (podem não surtir o efeito desejado, atendendo à dimensão de partículas de água aspergidas geralmente, muito superior ao tamanho de poeiras respiráveis [333]); medição de poeiras em tempo real (com resultados imediatos, e poupando os custos de laboratório, que geralmente costumam ser relevantes, a par da habitual demora na receção de resultados); ou como último recurso, as máscaras de proteção, nos casos em que medidas de controlo não possam limitar os níveis de poeiras [108], mas que muitas vezes os trabalhadores são renitentes a usar. Verifica-se, assim, que não retirar as poeiras não é sustentável [131].

Medida preventiva proposta: Purificador de ar (*deduster*)

Um dos legados dos túneis transalpinos é que a poeira tem indubitavelmente de ser coletada e evacuada [131], de modo a ser minimizada a sua concentração e a haver uma postura mais agressiva na fonte contra a criação de poeiras. O *deduster* (Figura 179), opção pura de automatização, é um dos caminhos mais eficazes para combater a exposição a poeiras [141], permitindo baixar os níveis de concentração destas [143], realizando a filtragem e despoeiramento do ar ainda no interior do túnel [145], e devendo ser aplicado nas proximidades do local de origem das poeiras, para permitir uma captação eficiente (por ex., transições de tapete transportador [292] ou britadeiras [131]).



Fig.179-Deduster em ação [336]

O ar contaminado entra por um dos extremos, sendo que a velocidade da corrente de ar baixa nesse ponto. As poeiras mais pesadas depositam-se, devido a gravidade originada pelo decréscimo de velocidade, e as mais leves seguem para filtro. Na zona de filtragem, a corrente de ar é filtrada, caindo a poeira para coletores, que a encaminham para um local de descarga. Pode ou não ser utilizada água [145]. O ar limpo é injetado para a galeria por ventilador, posicionado após a zona de filtragem [145].

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,60$) revela-se como bastante relevante, indiciando que a sua implementação é muito pertinente.

Perigo identificado: Durante a projeção de betão, os trabalhadores encontram-se envolvidos por névoas de poeiras derivadas do betão que estão a projetar. A utilização de máscaras de proteção com mangueira tem vindo a ser adotada, apesar de se considerar que a proteção deve ser sempre utilizada como último recurso, em prol das máscaras convencionais, e permitem ao trabalhador respirar o ar que foi limpo por um filtro. No entanto, nem sempre o processo de limpeza é o correto.

Medida preventiva proposta: Cabine fechada em robô de projeção

Equipar um robô de projeção (Figura 180) com uma cabine fechada tem vindo a ser alvo de investigação por parte de fornecedores, dado ser um modo de providenciar uma melhoria de ambiente de trabalho [151], por minimizar a exposição do operador à névoa do betão e possibilitar reduções de 74% de exposição a poeiras totais e de 44% de exposição a poeiras respiráveis [124]. Importa referir o cuidado que o operador deve ter ao sair da cabine, usando o equipamento de proteção de vias respiratórias [124], para não contrariar o efeito desta medida preventiva. O bem-estar do trabalhador é também maximizado relativamente à diminuição de ruído [135], exposição a produtos químicos [124] (a que estaria exposto durante a operação fora da cabine), e risco de queda de blocos [92] (Figura 181).



Fig.180-Camião com cabine fechada [324]



Fig.181-Cabine fechada junto a abóbada [124]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,47$) revela-se como razoável (ainda que se aproximando do "Bastante relevante"), indiciando que a sua implementação não é de elevada pertinência.

9.7. Contacto com produtos químicos

9.7.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* – 11º lugar - Nr=80 / MET - *Ranking* - 11º lugar - Nr=45

A seguir analisam-se os motivos prováveis pelos quais o MEC apresenta um Nr superior ao MET.

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (76,7%) revela uma concordância bastante relevante. Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, no final da tabela; no caso do MET, no final da tabela. A diferença percentual (77%) obtida entre os valores de Nr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível de pré-fabricação de materiais, especialmente em termos de revestimentos definitivos.

Analisam-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC - Para a escavação, carga e remoção de escombros, é necessária a lubrificação (, de modo a minimizar o desgaste de peças) de maior número de equipamentos móveis (Figura 182) que no MET.

MET –É necessária a aplicação de lubrificantes em componentes em menor quantidade (Figura 183).



Fig.182-Operação de manutenção [31]



Fig.183-Peças a lubrificar [127]

MEC - Para a realização de estabilização de maciço é necessária a utilização de produtos químicos, manuseados quer em fase de transporte quer em fase de aplicação (Figura 184).

MET - As soluções de estabilização implicam um menor manuseamento de produtos químicos, quer em fase de transporte quer em fase de aplicação (Figura 185).



Fig.184-Caldas de cimento para *grouting* [31]



Fig.185-Circuitos de soluções estabilização [58]

MEC - Diversos equipamentos móveis necessitam de limpeza de respingos de betão, que se acumulam durante a projeção de betão (Figura 186).

MET - A necessidade de limpeza de respingos de betão é menor, dado que a área de superfícies onde podem assentar as poeiras é, pela geometria do corpo da tuneladora, menor (Figura 187).



Fig.186-Betão para projeção [31]



Fig.187-Corpo de tuneladora [236]

MEC - Utilização de diversos produtos químicos para impermeabilização, por exemplo para união de panos de tela (Figura 188).

MET - O método construtivo não implica a utilização de telas de impermeabilização para revestimento final (Figura 189).



Fig.188-União de panos tela [31]

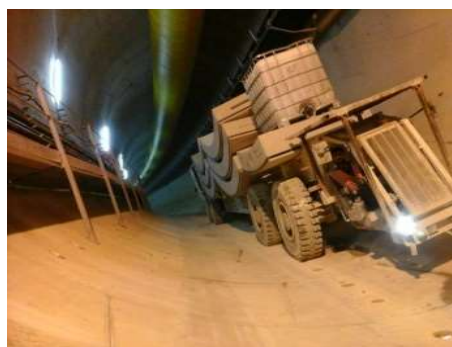


Fig.189-Transporte de aduela [277]

MEC - Utilização de diversos produtos químicos para cofragem, betonagem, descofragem e reparação de betão (Figura 190).

MET - As operações de cofragem, betonagem e descofragem são realizadas no exterior do túnel, em espaço não confinado e mais industrializado (Figura 191).



Fig.190-Produtos reparação de betão [337]



Fig.191-Montagem de cofragem aduela [277]

MEC - Para a montagem de dispositivos de estabilização e de revestimentos definitivos, é necessário realizar soldadura ou corte (Figura 192), com a respetiva emissão de gases nocivos.

MET - Este método construtivo minimiza as atividades de soldadura e corte, dado o revestimento definitivo ser feito ao mesmo tempo que a escavação (Figura 193).



Fig.192-Corte de perfil de pé de cambota [31]



Fig.193-Cabeça de corte [236]

MEC—Na betonagem de revestimento definitivo, há um grande contacto, através de mangueiras, com o betão (Figura 194) e respetivos componentes (cimento, aditivos, fibras de polipropileno, etc.).

MET - O trabalhador apenas entra em contacto direto com betão na aplicação de selantes para vedação de aduela, que é betonada/pré-fabricada num meio industrializado (Figura 195).



Fig.194-Manuseamento de mangueira [31]



Fig.195-Zona exterior de betonagem [58]

MEC - O número de equipamentos unitários que carece de manutenção é elevado (escavadora giratória, pá carregadora, *dumpers*, robô de projeção de betão, multicarregadora) (Figura 196).

MET - A tuneladora carece de manutenção, em diversas zonas operacionais, cujo número não é tão relevante como no MEC, nem as condições ambientais são tão agrestes (Figura 197).



Fig.196-Parque de equipamentos [31]

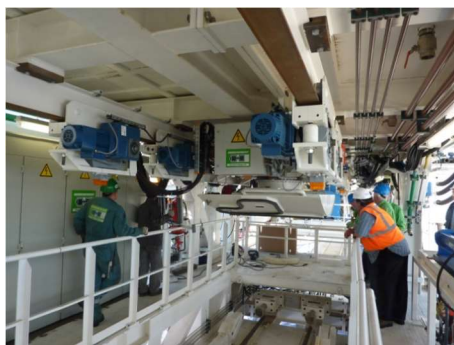


Fig.197-Tuneladora em manutenção [127]

MEC - No caso de o betão para revestimento definitivo apresentar anomalias, este será reparado, muitas vezes com utilização de produtos químicos (Figura 198).

MET - As aduelas são verificadas, no âmbito do controlo de qualidade, antes da sua aplicação no local final, minimizando a necessidade de reparação de betão (Figura 199).



Fig.198-Reparação de revestimento definitivo [31]



Fig.199-Aduelas já betonadas no exterior [277]

9.7.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(3F)=108)>(Nr(2F)=104)>(Nr(1F)=29). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 3F como mais elevada do que a 1F e a 2F, e colocando a 2F como tendo maior Nr do que a 1F. Este facto poderá ocorrer devido ao facto de os trabalhadores, nesta fase, estarem em contacto direto com diversos produtos químicos, tais como produtos para união de telas ou produtos associados à betonagem de revestimento definitivo (o próprio betão ou os aditivos). O facto de a 2F aparecer com um Nr superior à 1F pode ser justificado com a natureza dos trabalhos de estabilização, muito associados a tratamentos físicos e químicos do maciço fragilizado.

b) MET - (Nr(2F)=65)>(Nr(1F)=36)>(Nr(3F)=35). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 2F como mais elevada do que a 1F. Do mesmo modo que com o MEC, esta constatação pode ser justificada com o elevado carácter químico que a 2F assume em termos de tratamento de maciço para melhoramento de suas características de sustentação.

9.7.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C3)=1,2)>(Ir(C2)=1,0)>(Ir(C1)=0,6). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência contraria a hierarquização geral, posicionando o C3 como mais relevante que o C2. A posição cimeira atribuída a C3 pode justificar-se com a utilização de explosivos constituídos por componentes químicos e pelo seu elevado manuseamento durante montagem de pega de fogo.

b) MET-(Ir(C2)=0,8)>(Ir(C1)=0,6)>(Ir(C3)=0,0). Influência global Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)

A hierarquização de influência confirma a hierarquização geral. A posição cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com a utilização de condicionadores de solos (se aplicável) para melhoramento das características destes e mais rápido avanço, bem como um menor cuidado no manuseamento.

9.7.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: Muitas vezes, são utilizados produtos químicos que se tornam agressivos por inalação, ingestão ou absorção, e para os quais não se encontra em projeto qualquer limitação de utilização. Geralmente, opta-se por medidas de cariz individual, tais como a utilização de vestuário completo, luvas, óculos e máscara de proteção, que não fazem desaparecer o contacto. Saliente-se que o projetista deve ter o cuidado de eliminar ou minimizar os riscos relacionados com os produtos químicos e providenciar informação, quando necessário [153].

Medida preventiva proposta: Guia de classificação de produtos químicos

A utilização de um guia de classificação de produtos químicos pode nascer na fase de projeto e tornar-se um meio de triagem para identificação e controlo de riscos de produtos químicos perigosos. A proposta do *Crossrail* para implementar esta medida preventiva consiste em classificar os produtos em três níveis de perigosidade, que ditarão a possibilidade [153], limitação ou proibição da sua inclusão no projeto. A perigosidade dos produtos pode ser escalonada em três níveis:

Vermelho: produtos, processos e procedimentos que devem ser eliminados do projeto (por ex., aceleradores de presa alcalinos ou outros aditivos com características tóxicas); Laranja: produtos, processos ou equipamentos para utilizar quando não existe outra opção; Verde: produtos a serem encorajados (materiais com baixas características de toxicidade).

Esta lista poderá extrapolar a utilização para os produtos químicos, passando a abranger outros riscos.

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,17$) revela-se como pouco razoável, indiciando que a sua implementação é muito pouco pertinente

9.8. Rutura

9.8.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* – 5º lugar - Nr=242 / MET - *Ranking* - 5º lugar - Nr=156

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (53,3%) revela uma concordância relevante. Em termos de *ranking*, este risco encontra-se, no MEC e no MET, no meio da tabela. A diferença percentual (55%) obtida entre os valores de Nr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível das infraestruturas e equipamentos utilizados e da sua exposição a agressões externas. Analisam-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC - As infraestruturas de apoio à frente de escavação são posicionadas de modo aleatório, sujeitas à ação de agentes externos (choques, poeiras, etc.) (Figura 200).

MET - As infraestruturas de apoio à escavação e ao revestimento definitivo são parte integrante da tuneladora (Figura 201) e, assim, menos propensas a danos.



Fig.200-Tubagem em pressão danificada [31]



Fig.201-Infraestrutura de tuneladora [127]

MEC - Durante a remoção de escombros, são utilizados múltiplos equipamentos móveis (Figura 202), cujos componentes podem sofrer de rutura de tubagens internas ou de pneus.

MET - Na remoção de escombros, o número de equipamentos utilizados é menor. No entanto, saliente-se o tapete transportador (se existente), que pode sofrer um rompimento, designadamente em troços inclinados [131] (Figura 203).



Fig.202-Dumper em circulação[31]



Fig.203-Componente de tapete transportador [277]

MEC - As infraestruturas de abastecimento a escavação têm de ser desmontadas à medida que o revestimento definitivo avança, ocupando os hasteais para posterior reposicionamento (Figura 204).

MET - Atendendo a que o revestimento definitivo é instalado logo após a escavação, as tubagens não necessitam de reposicionamento posterior (Figura 205).



Fig.204-Reposicionamento de tubagens [31]



Fig.205-Infraestruturas instaladas [130]

MEC - Para a betonagem do revestimento definitivo, é necessária a utilização de tubagens a alta pressão, para limpeza de cofragens que contenham desperdícios de betão (Figura 206).

MET - Não são utilizadas tubagens sob pressão, dado a aduela ser betonada no exterior e transportada até ao local mecanicamente (Figura 207). No entanto, existe o risco de perda de vácuo pelo eretor.



Fig.206-Resíduos de betão em cofragem [31]



Fig.207-Pórtico de movimentação de aduelas [58]

MEC – Utilizam-se massivamente acessórios de elevação (correntes, lingas, cintas) (Figura 208) durante a escavação, aplicação de dispositivos de estabilização, e revestimento final.

MET - Não implica execução de rebaixo nem de revestimentos definitivos *in situ*, logo o volume de elevação é menor, realizado com mecanismos integrantes da tuneladora (Figura 209). Saliente-se o risco de perda de vácuo pelo eretor.



Fig.208-Acessórios de elevação[31]

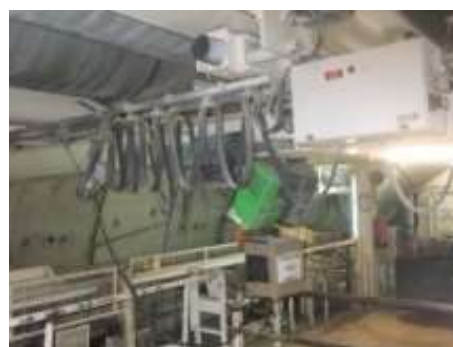


Fig.209-Movimentação de cargas [58]

9.8.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC

(Nr(1F)=306)>(Nr(2F)=236)>(Nr(3F)=184). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. O nível de risco atribuído, não tolerável, atribuído a 1F pode ser justificado pela elevada quantidade de infraestruturas necessárias para a frente de escavação e pelos potenciais danos que podem ocorrer. O nível de risco atribuído a 2F, também não tolerável, pode ser justificado pela utilização de dispositivos sob pressão, designadamente para injeção de caldas em soluções de estabilização.

b) MET

(Nr(2F)=195)>(Nr(3F)=150)>(Nr(1F)=122). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 1F como menos elevada do que a 2F e a 3F. Este facto poderá ocorrer porque na 1F existe menor movimentação de cargas, com conseqüente menor utilização de acessórios de elevação.

9.8.3. Análise de influência de cenários

a) MEC

(Ir(C2)=1,2)>(Ir(C3)=0,9)>(Ir(C1)=0,6). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência confirma a hierarquização geral.

A influência cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com algum menor cuidado induzido pela necessidade de realização de trabalhos a maior velocidade (e conseqüente maior risco de danos) no posicionamento de infraestruturas, designadamente na execução de impermeabilização, montagem de armaduras, betonagem, ou na criação de condições para que estas sejam danificadas ou deficientemente mantidas. Saliente-se também o menor cuidado que pode existir na utilização de acessórios de movimentação de cargas.

b) MET

(Ir(C2)=1,1)>(Ir(C1)=0,6)>(Ir(C3)=0,0). Influência global Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)

A hierarquização de influência confirma a hierarquização geral. A influência cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com anomalias derivadas de lacunas de manutenção associadas a maior velocidade de realização desses trabalhos.

9.8.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: A interrupção de transporte de fluidos (betão, bentonites, *grout*, água ou ar) pode ocorrer pelo desgaste em tubagens – eventualmente incorretamente posicionadas ou protegidas, devido, por ex., a ações mecânicas de equipamentos ou materiais (por ex., quando uma viatura passa por cima ou quando ocorre um choque que fragiliza o revestimento anti-corrosão), tendo o potencial de atingir trabalhadores diretamente envolvidos no trabalho e também os que estejam nas redondezas. Estas anomalias podem ainda provocar paragens no processo produtivo, por ex., durante uma betonagem.

Medida preventiva proposta: Proteção adicional de tubagens

Atendendo a que os danos em tubagens são muitas vezes provocados por ações mecânicas, propõe-se o reforço de revestimento de tubagens, com camada rígida (Figura 210), que tem como objetivo estabelecer uma proteção suplementar contra o impacto de objetos, designadamente pontiagudos ou cortantes, que possam afetar a camada anticorrosiva [338].



Fig.210-Proteção em perímetro de tubagem [338]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,57$) revela-se como bastante razoável, indiciando que a sua implementação é pertinente.

Medida preventiva proposta: Equipamento para medição de espessura de paredes de tubagens

A medição regular da espessura de paredes de tubagens pode permitir apercebermo-nos de desgaste excessivo (e impercetível) e potencial falha de tubagem, com conseqüente interrupção abrupta do fornecimento do transportado (água, ar, bentonites, betão). Sabendo, pelas especificações técnicas do fabricante, a espessura mínima admissível para paredes de tubagens, a medição da espessura permite aferir o seu bom estado e testar a espessura das mesmas. A medição pode ser realizada utilizando medidores de espessura ultrassônicos (Figura 211) que, geralmente, permitem medir a espessura de tubagens de aço maciço, alumínio, prata e ferro, evitando potenciais falhas e alertando sobre desgaste excessivo.



Fig.211-Medidor de espessura [339]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,57$) revela-se como bastante relevante, indiciando que a sua implementação é pertinente.

9.9. Queda de blocos/torrões de betão projetado

9.9.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 1º lugar - Nr=607 / MET - *Ranking* - 1º lugar - Nr=222

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (83,3%) revela uma concordância muitíssimo relevante.

Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, no primeiro lugar; no caso do MET, também em primeiro lugar, afirmando-se assim como o principal risco neste tipo de obras. Em termos do MEC, os resultados vão ao encontro do indicado num estudo inicial de Tender, que já referia BLOC como um dos principais riscos [2]. A diferença percentual (273%) obtida entre os valores de Nr é extremamente relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos designadamente ao nível de exposição e proximidade de trabalhadores ao maciço. O posicionamento de BLOC como o risco mais elevado no MET contraria um pouco a ideia corrente de que o MET não tem o BLOC como um dos maiores riscos. No entanto, os trabalhos na cabeça de corte para substituição de discos de corte podem ser a justificação para o aparecimento destas respostas.

Salienta-se o posicionamento hierárquico deste risco, em 1º lugar, na 1F e 2F do MEC, facto que pode ser justificado com o elevado contacto com o maciço rochoso, nesta primeira fase, durante grande parte dos trabalhos. No caso do MET, este risco também se posicionou em 1º lugar na 1F e 2F, provavelmente devido aos trabalhos na cabeça de corte, com o transporte de materiais em tapete rolante e com o elevado contacto existente com maciço rochoso durante a montagem de dispositivos de estabilização.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC- A escavação implica a frequente presença de trabalhadores junto a face de escavação (Figura 214) ou não protegidos contra queda de blocos (Figura 212).

MET - O método construtivo limita a presença de trabalhadores junto a face de escavação, salvo para tarefas de substituição de discos de corte (Figura 213).



Fig.212-Trabalhos junto a face escavação [31]



Fig.213-Substituição de discos corte [206]

MEC - A análise de condições geológicas/geotécnicas do maciço é, geralmente, feita presencialmente, em zona bastante próxima da face de escavação (Figura 214).

MET - A avaliação de condições geológicas e geotécnicas do maciço é realizada através de cabina de controlo (Figura 215).



Fig.214-Análise geológica/geotécnica de escavação [31]



Fig.215-Cabina de controlo de tuneladora [319]

MEC - O saneamento mecânico ou manual (com consequências bastante mais graves no caso de ser manual), é feito em zonas não revestidas (Figura 216).

MET - O método construtivo minimiza a necessidade de saneamento mecânico ou manual, devido ao perfil de corte menos irregular da cabeça de escavação (Figura 217).



Fig.216-Saneamento mecânico [31]



Fig.217-Secção de corte [127]

MEC - A projeção de betão é feita em zona geralmente não delimitada da zona adjacente à face de escavação (Figura 218).

MET - O betão é projetado a partir de um local minimamente seguro e a tuneladora possui uma plataforma (Figura 219) que, pela sua natureza, limita a passagem do trabalhador para zonas de risco.



Fig.218-Projeção de betão [31]



Fig.219-Ponteira de projeção [335]

MEC - A realização de soluções de estabilização é, muitas vezes, feita em zonas ainda não revestidas (Figura 220).

MET - A realização de montagem de dispositivos de estabilização é feita com o trabalhador posicionado em plataformas integrantes da tuneladora (Figura 221) e mais protegidas.



Fig.220-Montagem de pregagens [31]



Fig.221-Plataformas de trabalho [127]

MEC - A reparação de varas de furação, muitas vezes (devido a implicações de reposicionamento de jumbo), tem de ser realizada em zona adjacente à face de escavação (Figura 222).

MET - A substituição de discos de corte é realizada em zona adjacente à face de escavação mas com uma periodicidade tendencialmente menor do que as varas de furação (Figura 223).



Fig.222-Reparação de varas [31]



Fig.223-Discos de corte [319]

MEC - O maciço encontra-se desprotegido (Figura 224) até à altura de receber o revestimento definitivo, sendo apenas nessa fase que se pode considerar que o risco diminui drasticamente.

MET - O revestimento final é instalado imediatamente após a escavação (Figura 225), pelo que o risco de queda de blocos fica logo minimizado.



Fig.224-Hasteais e abóbada não revestidos [31]



Fig.225-Montagem de aduelas [58]

9.9.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(1F)=1009)>(Nr(2F)=679)>(Nr(3F)=134). Tendência global Nr(1F)>Nr(2F)>Nr(3F)

A hierarquização de riscos atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. O posicionamento, inequívoco, de 1F corresponde a um nível de risco, não tolerável, que pode ser justificado com o facto de ocorrerem trabalhos em zonas adjacentes a face de escavação ou zonas totalmente não protegidas. O nível de risco atribuído a 2F, também não tolerável, pode ser justificado por se desenvolverem trabalhos em zonas fragilizadas e das quais, muitas vezes, se desconhece o comportamento a curto prazo.

b) MET-(Nr(2F)=347)>(Nr(1F)=245)>(Nr(3F)=75). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 2F como mais elevada do que a 1F. O nível de risco atribuído a 2F, não tolerável, pode ser justificado porque os trabalhadores são obrigados a aproximarem-se mais da face de escavação, designadamente em ações de emergência, em que os trabalhos são muito minuciosos e realizados “milimetricamente” junto a zona crítica.

9.9.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C1)=1,7)>(Ir(C3)=1,5)>(Ir(C2)=1,3). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência contraria a tendência global, posicionando o C1 como mais relevante e o C3 com maior relevância que o C2. A influência atribuída a C1, não tolerável, pode justificar-se com o facto de um maciço mais heterogéneo propiciar a ocorrência de queda isolada de blocos. A influência atribuída a C3, também não tolerável, pode justificar-se com o facto de os trabalhadores se terem de aproximar da frente de escavação para montagem de pega de fogo. Adicionalmente, após a pega, o maciço e revestimento primário estarão fragilizados, devido a passagem de vibrações [2], que prejudicam a aderência entre revestimento primário e maciço rochoso [159], aumentando este risco.

b) MET-(Ir(C1)=1,4)>(Ir(C2)=1,1)>(Ir(C3)=0,1). Influência global Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)

A hierarquização de influência contraria a tendência global, posicionando o C1 com um Ir superior a C2. A influência atribuída a C1, não tolerável, pode justificar-se com o facto de um maciço heterogéneo poder colocar problemas ao avanço da tuneladora e propiciar a queda de blocos. De referir, no entanto, que a instabilidade e a necessidade de reforço estrutural em escavações realizadas com tuneladoras são drasticamente reduzidas (dada a menor fracturação do maciço), comparativamente com escavações executadas com recurso a explosivos [94].

9.9.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: Um dos locais onde é mais provável a queda de blocos é a face de escavação. Saliente-se o elevado volume de trabalhos que é preciso, no MEC, realizar neste local e que envolve trabalhadores situados a uma reduzidíssima distância da face de escavação: saneamento, aplicação de dispositivos de estabilização, etc.. A utilização de equipamentos com controlo remoto poderia ser uma hipótese, mas o seu custo poderá não justificar o investimento.

Medida preventiva proposta: *Lasershell*

A escavação de face de escavação de forma inclinada [162], não vertical, denominada "*Lasershell*", desenvolvida pela MorganEst em parceria com a empresa Beton und Monierbau, foi usada pela primeira vez no Terminal 5 de Heathrow. A inclinação da face de escavação (Figura 226) aumenta a sua estabilidade, em comparação com a face de escavação vertical convencional [340], minimizando os riscos de desprendimento de blocos para as frentes de trabalho, e impede a exposição dos trabalhadores a zonas não revestidas, dado que a projeção de betão é realizada em avanço (Figura 227). Deve ter-se o cuidado de aferir se a altura de faces escavação tende para ser maior com o *Lasershell* e, assim, propiciar quedas de blocos de canto.



Fig.226-Escavação com face inclinada [38]

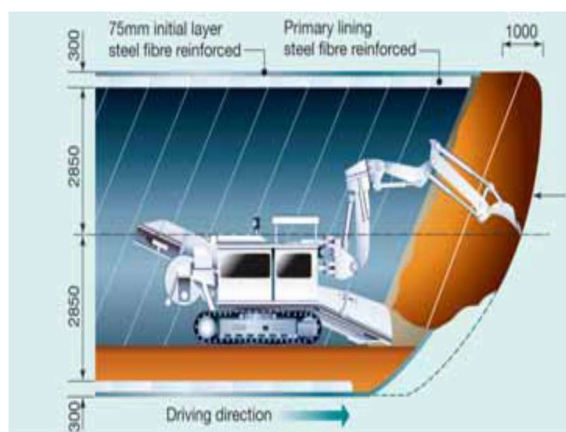


Fig.227-Lasershell [341]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,10$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação não é de elevada pertinência.

Perigo identificado: A queda de torrões de betão projetado é um tema quente no meio técnico e científico. Adicionalmente, até à data, o tempo até à resistência do betão que permita a reentrada de trabalhadores em zonas de betão recém-projetado tem sido determinado de maneiras diferentes: penetrómetro, pistola Hilti e extração de provetes. Estes três métodos apresentam algumas desvantagens. Por um lado, é necessário ir até à face de escavação para realizar os ensaios, existindo o risco de queda de torrões de betão projetado. Por outro, os ensaios, destrutivos, são relativos a parcelas aleatórias de betão projetado, extrapolando-se para o restante.

Medida preventiva proposta: Zonas de exclusão

A principal medida preventiva passa por impor zonas onde não é permitida a permanência [108], as chamadas zonas de exclusão [342] (Figura 228), e consiste na delimitação com barreira física, para impedir passagem para zona de risco (salvaguardando que os trabalhadores entendem o seu significado), e sinalização da zona adjacente à zona onde o operador de robô de projeção se posiciona (até à frente de escavação) [77]. A zona mantém-se como zona de exclusão até se comprovar que o betão atingiu uma resistência pré-definida [274]. Atualmente, encontra-se em fase de testes a tecnologia “*Strength Monitoring Using Thermal Imaging*” (SMUTI) [162], que capta imagens por infravermelhos da temperatura durante o processo de cura do betão (Figura 229), a partir das quais se calcula a hidratação já ocorrida e a resistência alcançada. As vantagens que apresenta, comparativamente com as metodologias tradicionais, são: não expõe os trabalhadores a zona de risco de queda de torrões, permite que qualquer zona seja medida, em tempo real e de modo não destrutivo, e não fica restrita a uma zona específica ensaiada.



Fig.228-Zona exclusão [342]

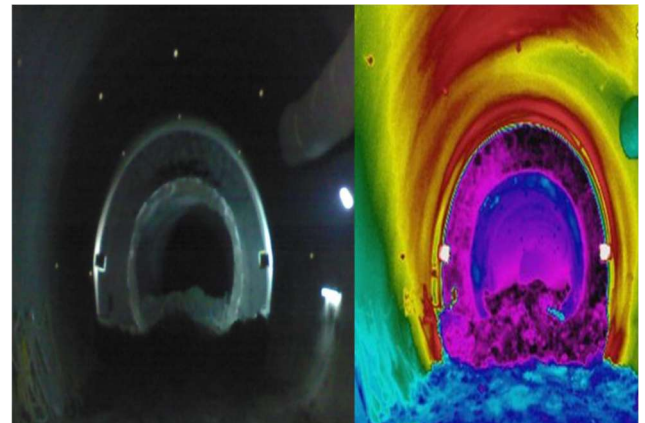


Fig.229-Imagem de câmara termográfica [343]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,57$) revela-se como bastante relevante, indiciando que a sua implementação é pertinente.

9.10. Colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos

9.10.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 4º lugar - Nr=278 / MET - *Ranking* - 7º lugar - Nr=131

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (83,3%) revela uma concordância extremamente relevante.

Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, em quarto lugar; no caso do MET, no meio da tabela. A diferença percentual (112%) obtida entre os valores de Nr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível do tipo de estruturas temporárias utilizadas.

Salienta-se o posicionamento hierárquico deste risco em 3º lugar nas três fases do MEC, facto que pode ser justificado pela utilização de diversos equipamentos móveis (como camiões, multicarregadoras ou *dumpers*) que, na presença de desníveis, designadamente rebaixos, podem capotar.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC - Utilização de meios elevatórios de grande dimensão para apoio à montagem e desmontagem de moldes de cofragem (Figura 230).

MET - Esta situação acontece de um modo similar durante montagem das peças de maior peso da tuneladora [129] (Figura 231).



Fig.230-Movimentação de molde de cofragem [31]



Fig.231-Movimentação cabeça de tuneladora [58]

MEC - Utilização de equipamentos móveis, que podem estar sujeitos a inclinações excessivas ou cedência de pavimentos por onde circulem [129] (Figura 232).

MET - A movimentação é geralmente realizada com equipamentos sobre carris e apoio de aparelhos, por ex., diferenciais, que são parte integrante da tuneladora (Figura 233).



Fig.232-Camião com braço de carga [31]



Fig.233-Diferencial [127]

MEC - Utilização massiva de estruturas móveis para instalação de impermeabilização, armaduras e betonagem que, para cada avanço, são propensas a desencaixes e desapertos (Figura 234).

MET –A montagem de aduelas não implica a utilização de estruturas móveis para revestimentos definitivos. No entanto, pode ocorrer a perda de vácuo por parte do eretor (Figura 235).

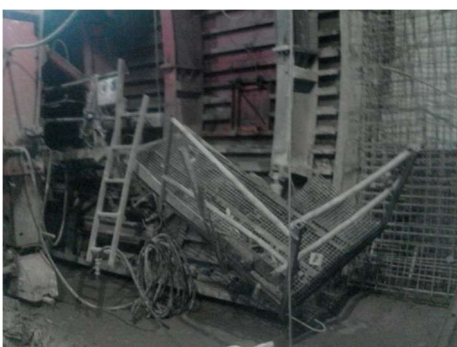


Fig.234-Plataforma colapsada [31]



Fig.235-Aduela [319]

MEC - Utilização massiva de multicarregadoras para apoio à escavação (Figura 236).

MET - As multicarregadoras apenas se utilizam durante montagem e desmontagem de tuneladora (Figura 237).

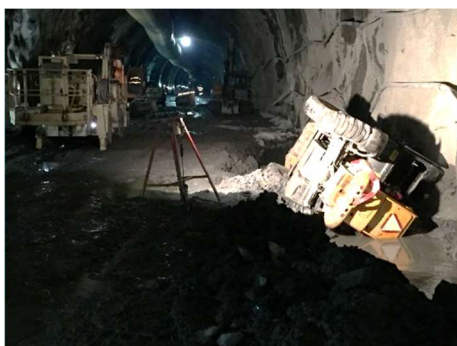


Fig.236-Multicarregadora capotada [31]



Fig.237-Desmontagem de tuneladora [58]

MEC - Utilização massiva de autobetoneiras para fornecimento de betão para revestimento definitivo (Figura 238).

MET - A montagem de aduelas pré-fabricadas (Figura 239) não implica a entrada de autobetoneiras para o túnel.



Fig.238-Autobetoneira para betonagem [31]



Fig.239-Aduela pré-fabricada [236]

MEC - Existência de rebaixos na secção transversal ou poços de bombagem, ou desníveis, que podem propiciar o capotamento (Figura 240).

MET - Não existem rebaixos na secção transversal (Figura 241).



Fig.240-Autobetoneira tombada [31]



Fig.241-Secção transversal [58]

MEC - Utilização de plataformas elevatórias em trabalhos de acabamentos ou reparações em revestimento final (Figura 242).

MET - O pavimento por onde as autobetoneiras circulam (Figura 243) é mais regular e nivelado e menos propenso a capotamento.



Fig.242-Reparação de betão [31]



Fig.243-Pavimento já betonado [205]

MEC - Utilização de plataformas elevatórias em trabalhos de manutenção e reparação de infraestruturas (Figura 244).

MET - Os trabalhos de manutenção são realizados a partir de plataformas pertencentes à tuneladora ou em plataformas elevatórias sobre rodas ou carris (Figura 245).



Fig.244-Manutenção de manga de ventilação [31]



Fig.245-Plataformas de trabalho de tuneladora [206]

9.10.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(1F)=333)>(Nr(2F)=277)>(Nr(3F)=225). Tendência global Nr(1F)>Nr(2F)>Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. O nível atribuído a 1F, não tolerável, pode ser justificado pelos inúmeros equipamentos móveis que são utilizados para esta fase, sujeitos a condições potencialmente irregulares de pavimentos. O nível atribuído a 2F, também não tolerável, pode ser justificado pelo mesmo motivo.

b) MET-(Nr(1F)=155)>(Nr(3F)=131)>(Nr(2F)=109). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 3F como mais elevada do que a 2F. Este facto pode estar associado a uma maior utilização de estruturas provisórias ou problemas em sistema de vácuo de eretor de aduelas.

9.10.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C2)=1,4)>(Ir(C1)=1,2)>(Ir(C3)=0,6). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência contraria a tendência geral, posicionando o C1 com um Ir superior a C3. A influência cimeira atribuída a C2, não tolerável, pode justificar-se com uma maior pressa na movimentação de equipamentos, que pode propiciar aproximações intempestivas a desníveis, e no avanço de estruturas temporárias, o que poderá facilitar/propiciar alguma desatenção na verificação das suas condições de trabalho (apertos, encaixes, etc.). O facto de C1 aparecer como mais valorizado que C3 pode dever-se à utilização de maior número de equipamentos associados a montagem de dispositivos de estabilização para melhoramento de características de maciço.

b) MET-(Ir(C2)=1,1)>(Ir(C1)=1,0)>(Ir(C3)=0,0). Influência global de Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)

A hierarquização de influência confirma a tendência geral. A influência cimeira atribuída a C2, não tolerável, pode justificar-se com o impacto que a prensa pode ter nas operações com equipamentos, por ex., na estabilização de equipamentos de elevação de cargas.

9.10.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: Um dos problemas que se colocam na execução do revestimento final prende-se com a integridade decorrente da utilização massiva de estruturas móveis para montagem de sistema de impermeabilização, armaduras, e cofragem/betonagem/descofragem. Este tipo de estruturas, geralmente constituídas por peças metálicas interligadas entre si, nem sempre é tratado com o devido cuidado. De cada vez que se movimenta a estrutura para avançar para a nova secção a impermeabilizar ou revestir de armaduras, esta pode ser alvo, por tremer ou chocar com talude de rebaixo, de desencaixes ou desapertos, em zonas cruciais como apoios de escadas, colocando em perigo todos aqueles que tem essa estrutura como local de trabalho.

Medida preventiva proposta: Verificação periódica de estruturas temporárias de montagem de revestimentos definitivos

Esta medida preventiva, adotada na obra do TdM, implica que o supervisor dos trabalhos, de cada vez que estruturas temporárias se movimentem, proceda a verificação, de forma formal e escrita, de elementos de interligação entre peças constituintes dessa mesma estrutura (por ex., ligações, apertos e encaixes). Este tipo de verificação ultrapassa o previsto na legislação em vigor no que se refere à verificação de equipamentos de trabalho, mas assim fica garantido que alguém competente verificou o equipamento após a movimentação longitudinal (Figura 246) e que as condições deste não se degradaram durante a mesma. É também uma forma de dar resposta a eventuais deformações e empenos dos elementos resultantes, por exemplo, de pequenos embates com o terreno escavado [181].

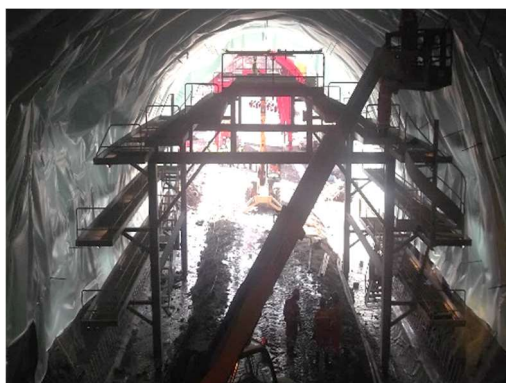


Fig.246-Estruturas temporária móvel [31]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,43$) revela-se como razoável (ainda que aproximando-se do "Bastante relevante") indiciando que a sua implementação não é pertinente

Perigo identificado: A remoção de escombros para vazadouro, se realizada em taludes de meia encosta, propicia a aproximação intempestiva dos *dumpers*/camiões a bordadura de talude e conseqüente capotamento dos mesmos [77]. Exemplifica-se com dois acidentes na 1ª fase do TdM e do Túnel de Seixoalvo, em que um *dumper* e um *bulldozer*, respetivamente, rolaram e capotaram para a base dos taludes onde circulavam (com desníveis de, respetivamente, 40m e 10m. Este último caso foi fatal para o manobrador, enquanto o manobrador envolvido no primeiro acidente foi projetado no início da queda).

Medida preventiva proposta: Proteção física em bordaduras de taludes

Apesar de ser importante atender à qualidade dos taludes (capacidade resistente e largura) para evitar situações similares, importa também combater o problema na fonte e não permitir a aproximação à bordadura do talude. Garantir que os acessos e vias de circulação sejam mantidos em bom estado de conservação e de limpeza e assegurar a iluminação adequada nos acessos e vias de circulação poderá ser o primeiro passo para minorar o risco de acidentes por rolamento de equipamentos em taludes. A delimitação de bordaduras de taludes apresenta-se como uma opção para impedir a aproximação intempestiva dos equipamentos à bordadura destes, em casos de utilizações repetidas (que podem fazer aumentar o excesso de confiança de manobradores e, conseqüentemente, a probabilidade de distração). Esta proteção pode ser consumada pelo uso de perfis móveis de betão, nos troços mais críticos (por ex., curvas) (Figura 247); cordão de terras com material aproveitado de escavação; ou muros de gabiões (Figura 248) com os quais os *dumpers* colidirão em caso de aproximação intempestiva [181].



Fig.247-Bordadura de talude com perfis de betão [31]



Fig.248-Muro de gabiões em bordadura talude [31]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,43$) revela-se como razoável (ainda que aproximando-se do “Bastante relevante”), indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.11. Queda ao mesmo nível/em altura

9.11.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 3º lugar - Nr=319 / MET - *Ranking* - 3º lugar - Nr=177

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (73,3%) revela uma concordância relevante. Em termos de *ranking*, este risco encontra-se em terceiro lugar quer no MEC quer no MET. Anerizis refere a queda em altura como o maior risco [17], o que significa que o presente resultado contraria o seu estudo.

A diferença percentual (80%) obtida entre os valores de Nr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível de plataformas de trabalho em altura a utilizar.

Salienta-se o posicionamento hierárquico deste risco em 1º lugar na 3F do MEC, facto que pode ser justificado pela montagem, utilização e desmontagem de estruturas temporárias para trabalhos de revestimento definitivo em altura. Saliente-se que grande parte do ciclo de trabalho da 3ª fase é realizado em altura, designadamente nas proximidades da abóbada. O 1º lugar atribuído na 3F do MET pode ser justificado com o posicionamento em altura para montagem de aduelas pré-fabricadas.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC - Os trabalhadores estão em contacto direto com o solo, irregular, com blocos soltos, que dificultam a circulação (Figura 249).

MET - Neste método construtivo, os trabalhadores não entram em contacto com o solo da face de escavação, apenas o fazendo no tardo da tuneladora (Figura 250).



Fig.249-Pavimento com blocos soltos [31]



Fig.250-Estado de pavimento após aterro [236]

MEC – O risco de queda em altura que existe na escavação propriamente dita é a utilização de escadas móveis na face de escavação para, por ex., marcação topográfica (Figura 251).

MET - A execução de trabalhos no interior da câmara de escavação leva à presença dos trabalhadores em locais onde existe o risco de queda em altura (Figura 252).



Fig.251-Escada em face escavação [31]



Fig.252-Substituição de discos de corte [205]

MEC - Existência de diversos desníveis, designadamente em rebaixo (Figura 253) ou transições de secções transversais, em zonas onde as pessoas circulam a pé nas proximidades.

MET - Este método construtivo não implica, pela secção transversal de cabeça de tuneladora, a existência de rebaixo (Figura 254), minimizando assim a quantidade de locais de risco.



Fig.253-Desníveis em rebaixo [31]



Fig.254-Secção transversal [205]

MEC - Os trabalhos de montagem de dispositivos de estabilização é feita com utilização massiva de escadas e plataformas elevatórias (Figura 255).

MET - Os dispositivos de estabilização são instalados a partir de plataformas pertencentes à tuneladora e munidas de guarda-corpos (Figura 256).



Fig.255-Trabalhos de estabilização [31]



Fig.256-Zona de montagem de pregagens [319]

MEC - A montagem de estruturas provisórias para revestimentos definitivos implica a realização de trabalhos em altura para alcançar a abóbada e zonas altas de hasteais (Figura 257).

MET - A montagem de revestimento definitivo é realizada em plataformas que fazem parte integrante da tuneladora (montada no exterior do túnel) e que se movem com ela (Figura 258).



Fig.257-Montagem de molde betonagem [31]



Fig.258-Montagem de aduela [58]

MEC - A montagem de armaduras é realizada em altura, sob alçada de guarda-corpos a dois níveis (Figura 259) ou arnês de segurança.

MET - A montagem de armaduras é realizada a nível térreo, sem necessidade de utilização de Equipamentos de Proteção Coletiva ou Individual específicos (Figura 260).



Fig.259-Montagem de armaduras da abóbada [31]



Fig.260-Montagem de armadura de aduela [234]

MEC - Os trabalhos de montagem de molde, cofragem e descofragem de molde de betão, designadamente de fechos de topos, são realizados em altura (Figura 261).

MET - A betonagem de aduelas de revestimento definitivo não implica trabalhos em altura. A única tarefa que implica trabalhos em altura é a solidarização de aduelas (Figura 262).



Fig.261-Montagem de topo de cofragem [31]



Fig.262-Escadas de solidarização de aduelas [277]

MEC - Os guarda-corpos e acessos verticais são elementos instalados aleatoriamente e nem sempre do melhor modo (Figura 263).

MET - Os guarda-corpos vêm instalados de fábrica (Figura 264).



Fig.263-Guarda-corpos molde [31]



Fig.264-Guarda-corpos de tuneladora [127]

MEC - As plataformas e locais de trabalho, por terem intervenção de mais equipamentos, materiais e trabalhadores, têm tendência a ficar mais obstruídas (Figura 265) ou enlameadas, propiciando queda ao mesmo nível.

MET - As plataformas têm tendência, pela mecanização associada ao MET (e conseqüente menor quantidade de materiais e equipamentos utilizados), a não ficarem tão obstruídas (Figura 266).



Fig.265-Plataformas desorganizadas [31]



Fig.266-Plataforma de tuneladora [58]

MEC - O espaçamento entre estruturas móveis e hasteais pode ser relevante, pela existência de sobrecavação (Figura 267).

MET - O espaçamento entre estrutura de tuneladora e os hasteais é menor (Figura 268) e não está sujeito a efeitos de sobrecavação.

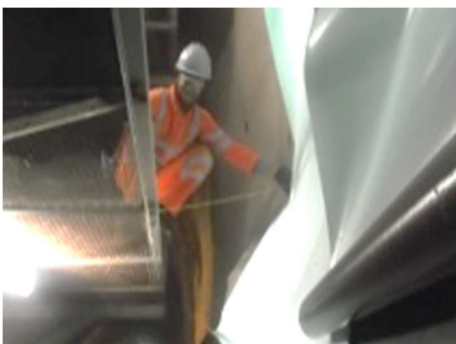


Fig.267-Espaçamento entre estrutura/hasteal [31]



Fig.268-Espaçamento tuneladora/hasteal [58]

MEC - Para aceder às estruturas de montagem de revestimentos definitivos montados em rebaixo, se aplicável, há que vencer o desvão, sendo utilizados acessos provisórios (Figura 269).

MET - Não existe, devido à forma de cabeça de corte da tuneladora, secção transversal com rebaixo (Figura 270).



Fig.269-Acesso a estrutura de montagem [31]



Fig.270-Secção transversal [334]

MEC - Para aceder aos diversos equipamentos móveis, os trabalhadores têm de subir e descer os degraus que, por vezes, se encontram sujos ou escorregadios (Figura 271).

MET - Não implica a subida e descida de degraus potencialmente escorregadios. A tuneladora dispõe de escadas entre níveis que tendem a não ser tão escorregadias (Figura 272).



Fig.271-Dumper e acesso [31]



Fig.272-Acesso entre diferentes níveis [58]

MEC - O método construtivo implica um elevado volume de movimentação manual de cargas (Figura 273) que pode obstruir o campo de visão do trabalhador e propiciar a queda.

MET - O método construtivo não implica, pela sua mecanização (Figura 274), um elevado volume de movimentação manual de cargas.

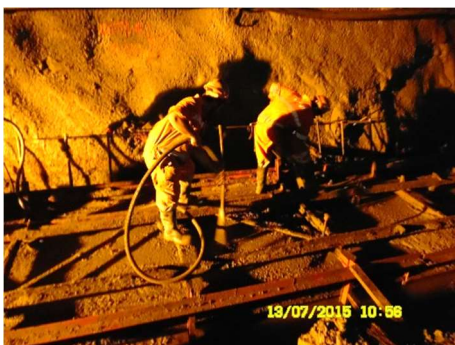


Fig.273-Movimentação de cofragem para betonagem [31]



Fig.274-Tuneladoras em poço [58]

MEC - Na impermeabilização e montagem de armaduras, os guarda-corpos têm de ser desmontados para receber os materiais a aplicar (varões e rolos de telas) dos meios de elevação (Figura 275).

MET - O método construtivo não implica a desmontagem de proteções coletivas para receção de materiais, dado existirem, na tuneladora, locais específicos para a descarga de materiais (Figura 276).



Fig.275-Chegada de materiais a estruturas [31]



Fig.276-Zona de descarga de materiais [58]

MEC - Alguns dos equipamentos móveis não dispõem de acessos adequados em altura aos órgãos que carecem de manutenção (Figura 277).

MET - Não existem equipamentos individuais para realizar manutenção, sendo esta realizada em plataformas que são parte integrante das tuneladoras (Figura 278).



Fig.277-Manutenção de braço de jumbo [234]

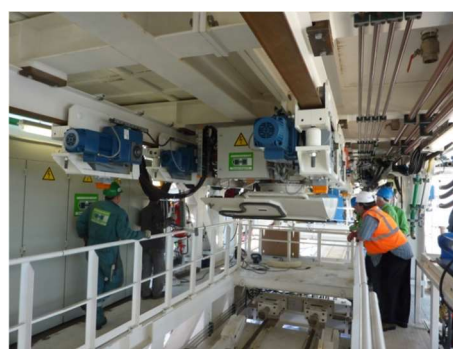


Fig.278-Plataformas da tuneladora [127]

9.11.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(3F)=382)>(Nr(1F)=315)>(Nr(2F)=261). Tendência global Nr(1F)>Nr(2F)>Nr(3F)

A hierarquização de risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 3F como mais elevada do que a 1F e a 2F. O nível de risco atribuído a 3F, não tolerável, pode dever-se a que grande parte dos trabalhos de revestimentos definitivos, designadamente no hasteal superior e na abóbada, tenha de ser realizada em locais de trabalho em altura. O nível de risco atribuído a 1F, também não tolerável, pode ser justificado pelo facto de nesta fase ser provável a queda ao mesmo nível. O nível de risco atribuído a 2F, também não tolerável, pode ser justificado pelos trabalhos em altura a realizar nas ações de estabilização do maciço.

b) MET-(Nr(3F)=215)>(Nr(2F)=192)>(Nr(1F)=124). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 3F como mais elevada do que a 1F e a 2F, e colocando a 2F como mais elevada do que a 1F. O nível de risco atribuído a 3F, não tolerável, num lugar cimeiro, pode decorrer do facto de o trabalho de montagem de aduelas na 3F ser dos poucos trabalhos em altura que tem de ser realizado na tuneladora, salvo a sua montagem e desmontagem. O posicionamento da 2F pode decorrer do facto de as soluções de estabilização obrigarem a um relevante volume de trabalhos em altura.

9.11.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C2)=1,4)>(Ir(C1)=1,0)>(Ir(C3)=0,5). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência contraria a hierarquização geral, posicionando o C1 como mais relevante do que o C3. A influência cimeira atribuída a C2, não tolerável, pode justificar-se com o facto de o aumento de velocidade de trabalho, associado a simultaneidade de frentes de trabalho, poder aumentar o risco de escorregamentos e quedas [168], e pelo facto de poder haver menor grau de perfeição nas montagens realizadas e na manutenção de equipamentos de proteção coletiva. O facto de C1 aparecer como mais influente do que C3 pode ser explicado pela quantidade de trabalhos em altura (saneamento e dispositivos de estabilização com meios elevatórios), originada pela existência de um maciço fragilizado

b) MET-(Ir(C2)=1,0)>(Ir(C1)=0,7)>(Ir(C3)=0,0). Influência global Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)

A hierarquização de influência confirma a hierarquização geral. A influência cimeira atribuída a C2 pode justificar-se, como no caso do MEC, com a associação entre o aumento de velocidade de trabalho e o risco de escorregamentos e quedas.

9.11.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: A utilização de estruturas temporárias para trabalho em altura implica que os trabalhadores se posicionem em plataformas temporárias, instaladas a diversas alturas, de modo a que possam chegar à totalidade da secção transversal (hasteais e abóbada). Ainda que se consiga uma boa montagem das estruturas temporárias, estas nunca deixarão de ser estruturas com elementos interligados, com risco de desencaixar e desapertar.

Medida preventiva proposta: Aplicação de impermeabilização com *sprays*

A realização de impermeabilização via *spray* é atualmente um assunto em ebulição na comunidade técnica e científica, por causa das implicações em termos produtivos e sobre a sua eficácia como solução [8]. Em termos de segurança e saúde, apresenta diversas vantagens técnicas relativamente à aplicação de membranas em folha [8], devido à minimização de trabalhos em altura (Figura 279), uma vez que há menor necessidade de montagem/desmontagem, e de utilização, de estruturas temporárias e móveis para o efeito. Para que se possa tomar esta opção, e atendendo a que é projetado um produto químico com alguma toxicidade, alguns cuidados poderão ser necessários, tais como a delimitação, vedação e selagem de secção transversal onde decorram

trabalhos; utilização de vestuário de proteção completo (tendo em conta as fichas de dados de segurança dos produtos a utilizar); e instalação de medidas preventivas adicionais contra incêndio.



Fig.279-Equipamento de projeção de membrana [344]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,3$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação é pertinente.

Perigo identificado: A circulação de trabalhadores em pavimentos escorregadios pode propiciar quedas ao mesmo nível, por falta de atrito entre os sapatos e os pavimentos, sendo que o atrito é dos fatores que mais contribui para a prevenção de escorregamento [345]. O elemento contaminante pode ser sólido, como areia, líquido, como a água ou o óleo, ou até pastoso, como as lamas ou as gorduras [345]. A limpeza e organização do estaleiro assumem-se como o principal meio de prevenção. No entanto, os níveis de limpeza e organização na construção encontram-se habitualmente bastante aquém dos de outros setores.

Medida preventiva proposta: Pavimentos com características anti-derrapantes

As propriedades de pavimento de locais de trabalho e respetivos acessos podem ser controladas, sendo que as propriedades do calçado são mais difíceis de controlar, devido à heterogeneidade da sola e ao comportamento do trabalhador [345]. Na fase de revestimento final, são principalmente utilizadas estruturas provisórias. Sabendo-se que a arrumação dos locais de trabalho reduz os acidentes por quedas e escorregamento [131], impõe-se criar meios para responder a esta necessidade e garantir a limpeza e arrumação de estaleiro e a remoção de obstáculos que possam contribuir para escorregamentos, tais como ter vias de circulação estáveis [166]. A utilização de pisos com características antiderrapantes (Figura 280), designadamente em locais de trabalho e respetivos acessos, surge como um primeiro passo de intervenção nos mesmos, e permite a diminuição da falta de aderência e o aumento do atrito, através da redução de deposição de materiais.



Fig.280-Piso antiderrapante [31]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,47$) revela-se como razoável (ainda que aproximando-se do "Bastante relevante"), indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.12. Problemas musculoesqueléticos

9.12.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 10º lugar - Nr=132 / MET - *Ranking* - 8º lugar - Nr=103

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (66,7%) revela uma concordância muito relevante.

Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC, na parte final da tabela; no caso do MET, no meio da tabela. Relativamente a estudos anteriores do autor, o presente posicionamento hierárquico deste risco aparece num lugar de menos relevo, ou seja com um Nr mais baixo que os restantes. A diferença percentual (28%) obtida entre os valores de Nr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível do número de mão-de-obra envolvida e do esforço corporal realizado. Ao contrário daquilo que o autor esperava, este risco não é indicado pelos inquiridos como sendo dos mais gravosos neste tipo de obra.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC - O trabalho físico a desenvolver por cada trabalhador é mais pesado, dado as cargas serem mais pesadas e disformes [60] (Figura 281).

MET - O método construtivo, pelo seu carácter automatizado (Figura 282), permite um menor esforço de execução por parte dos trabalhadores.



Fig.281-Montagem de dispositivo de estabilização [31]



Fig.282-Automatização de tuneladora [58]

MEC - O solo da zona adjacente à face de escavação tem blocos soltos a diferentes cotas (Figura 283), o que dificulta a circulação a pé, propiciando quedas ao mesmo nível.

MET – O trabalhador não pode circular livremente a pé, pela concepção de cabeça de corte, na zona adjacente à face de escavação (Figura 284).



Fig.283-Pavimento irregular [31]



Fig.284-Cabeça de corte [236]

MEC - A escavação obriga a um manuseamento de ferramentas e equipamentos, designadamente varas e *bits* para furação [234] (Figura 285).

MET – O manuseamento existe na substituição de discos de corte (Figura 286), atividade que exige bastante esforço físico, mas que tem uma periodicidade menor do que a mudança de varas.



Fig.285-Substituição de varas de furação[31]



Fig.286-Discos de corte [58]

MEC - A montagem de dispositivos de estabilização é realizada com elevado volume de trabalho manual (Figura 287), com relevante manuseamento de ferramentas manuais.

MET – A aplicação de dispositivos de estabilização é mais mecanizada (Figura 288), embora, dependendo do diâmetro e configuração da tuneladora, possa ser uma tarefa difícil [346].



Fig.287-Montagem de cambotas [284]



Fig.288-Montagem de pregagens [59]

MEC - Durante a carga e remoção de escombros, pode ocorrer a queda de material do *dumper* para zonas inferiores, designadamente de circulação (Figura 289).

MET - Durante a carga e remoção de escombros, podem ocorrer ferimentos por queda de materiais ou manuseamento de vagões (por ex., desacoplagem) ou tapete (por ex., para aumento) (Figura 290).



Fig.289-Dumper com escombros [31]

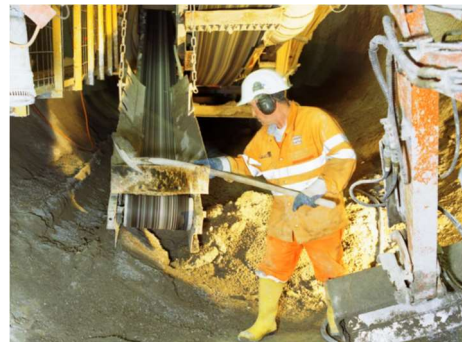


Fig.290-Manutenção no tapete [347]

MEC -A execução de rebaixos obriga a uma relevante movimentação de cargas para armaduras, cofragem, betonagem e descofragem (Figura 291).

MET - No caso do MET, pela configuração da cabeça de corte, não existe rebaixo (Figura 292).



Fig.291-Movimentação de cofragem [31]



Fig.292-Secção transversal da cabeça de corte [334]

MEC - A montagem/desmontagem de estruturas para revestimentos definitivos implica o manuseamento de vários elementos cortantes ou de elevado peso (por ex., prumos) (Figura 293).

MET - O revestimento definitivo não obriga à montagem de estruturas temporárias, dado as plataformas de trabalho serem integrantes da tuneladora (Figura 294) (por sua vez, tem riscos associados a montagem).



Fig.293-Montagem de estrutura [31]



Fig.294-Plataformas de trabalho [334]

MEC - A montagem, operação e desmontagem de molde de betonagem obriga ao manuseamento de elementos cortantes ou pontiagudos e de elevado peso (painéis, travessas, escoras) (Figura 295).

MET - O revestimento definitivo não obriga à montagem de molde de betão, dado que a aduela é pré-fabricada (Figura 296).



Fig.295-Movimentação de peças de cofragem [31]



Fig.296-Aduela pré-fabricada [236]

MEC –As intervenções em infraestruturas são realizadas com meios elevatórios (Figura 297), podendo ocorrer entalamento entre abóbada e os comandos da plataforma.

MET - A manutenção de infraestruturas é realizada a partir de plataformas pertencentes ao *backup* da tuneladora (Figura 298).



Fig.297-Manutenção de mangas ventilação [31]



Fig.298-Backup de tuneladora [334]

MEC - A queda de objetos é mais provável, dado existirem diversos níveis de trabalho em estruturas móveis, sendo o rodapé desmontável (Figura 299).

MET - A existência de rodapés já faz parte integrante da tuneladora (Figura 300).



Fig.299-Diferentes níveis de trabalho [31]



Fig.300-Rodapés junto a pavimento [58]

MEC - Para a execução de impermeabilização e armaduras, são utilizados e manuseados, manual e mecanicamente, diversos materiais, tais como rolos de geotêxtil, tela (Figura 301) e varões (Figura 303).

MET - O manuseamento de materiais não é tão diverso como no MEC. No entanto, a aduela é montada na zona de maior risco de tuneladora [108], com proximidade de trabalhadores e aduelas (Figura 302), muitas vezes com visibilidade limitada [127]. A primeira situação de risco é na chegada da aduela ao local do eretor, em que pode ocorrer entalamento de pés durante avanço ou rotação de *feeder* (Figura 304). Na sua colocação no local definitivo, pode ocorrer entalamento de mãos.



Fig.301-Postura instável para montagem de tela [31]



Fig.302-Aproximação da aduela a eretor [277]



Fig.303-Manuseamento de varões [31]



Fig.304-Trabalhos junto a grippers [277]

MEC - No manuseamento de cofragem para moldes são manuseados, manual e mecanicamente, diversos materiais, tais como painéis de cofragem (Figura 305), tijes, castanhas, etc.

MET - A aplicação de revestimento definitivo não implica o manuseamento de peças de pequena dimensão, mas sim o apoio à montagem de uma peça única de grande dimensão (Figura 306).



Fig.305-Montagem de cofragem [31]



Fig.306-Montagem de aduela [58]

MEC - A betonagem de revestimento definitivo implica o manuseamento de topo de mangueira (Figura 307), com risco de golpe de chicote, com a agravante de estar sujeita a pulsar de bomba.

MET - Não são utilizadas mangueiras no interior do túnel, dado a aduela ser betonada no exterior do túnel e levada até ao local por meios mecânicos (Figura 308).



Fig.307-Manuseamento de mangueira de betão [31]



Fig.308-Transporte mecânico de aduelas [58]

MEC - Os equipamentos que carecem de manutenção são muitos e de pequena dimensão (por ex., jumbos, *dumpers*) (Figura 309), etc., obrigando a um contacto relevante com as mãos [234].

MET - O equipamento é único, mais automatizado (Figura 310), e a manutenção assume parâmetros mais normalizados.



Fig.309-Dumper em manutenção [35]



Fig.310-Infraestrutura em manutenção [127]

MEC - O carácter pouco automatizado provoca o risco de contacto com partes salientes em equipamentos, sapatas (Figura 311) ou hasteais ou projecção de materiais.

MET - O carácter automatizado do método (Figura 312) minimiza a ocorrência de contactos danosos.



Fig.311-Trabalho junto a varões [31]



Fig.312-Eretor de aduelas [127]

MEC - O método construtivo obriga à realização de diversas operações de soldadura e corte (Figura 313), designadamente inerentes a dispositivos de estabilização e moldes de cofragem.

MET - O método construtivo não implica a realização de um conjunto relevante de soldaduras, salvo na manutenção da tuneladora (Figura 314).



Fig.313-Soldadura [236]



Fig.314-Soldadura em tuneladora [58]

MEC - Para executar os revestimentos definitivos, os trabalhadores têm de assumir posições pouco ergonómicas, tais como ajoelhado (Figura 316), de braços esticados (Figura 317) ou em esforço (Figura 318), com a agravante da movimentação manual de cargas.

MET - A montagem de aduelas pré-fabricadas não obriga à adoção de posturas em esforço, dado que a sua movimentação é maioritariamente realizada com meios mecânicos (Figura 315).



Fig.316-Montagem de tela [31]



Fig.317-Montagem de armadura de abóbada [31]



Fig.315-Montagem de aduelas [58]



Fig.318-Posturas para montagem de cofragem [31]

9.12.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(3F)=162)>(Nr(2F)=131)>(Nr(1F)=104). Tendência geral Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 3F como mais elevada do que a 1F e a 2F, e colocando a 2F como mais elevada do que a 1F. Saliente-se a elevada quantidade de trabalho, com movimentações mecânicas e manuais de carga, com elevada probabilidade de contacto com mãos e pés, a realizar na 3F, associado à montagem de materiais (telas, armaduras e cofragens) para revestimentos definitivos. Quanto à 2F, salienta-se a elevada carga de mão-de-obra necessária para a aplicação de algumas soluções de estabilização, designadamente nos casos de emergência.

b) MET- (Nr(3F)=131)>(Nr(2F)=108)>(Nr(1F)=69). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 3F como mais elevada do que a 1F e a 2F, e colocando a 2F como mais elevada do que a 1F. Saliente-se a montagem de aduelas, realizada na 3F, que implica uma movimentação muito próxima entre trabalhadores, meios de transporte e aduelas pré-fabricadas. No que se refere à 2F, tal como no MEC, releva-se a elevada carga de mão-de-obra necessária para aplicação de soluções de estabilização.

9.12.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C2)=1,1)>(Ir(C1)=0,8)>(Ir(C3)=0,5). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência contraria a hierarquização geral, posicionando o C1 com um Ir superior a C3. A influência cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com o menor cuidado que o trabalhador possa ter na movimentação, designadamente manual (podendo mesmo prescindir do apoio de equipamentos móveis ou exagerar nas cargas transportadas), por ex., nas operações de montagem de dispositivos de estabilização. O facto de C1 aparecer como mais influente que C3 pode justificar-se com o facto de a montagem de dispositivos de estabilização, associada a maciço mais fragilizado, poder agravar a exposição a este risco.

b) MET

(Ir(C2)=1,0)>(Ir(C1)=0,6)>(Ir(C3)=0,0). Influência global Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)

A hierarquização de influência confirma a hierarquização geral. A posição cimeira atribuída a C2 pode justificar-se, do mesmo modo que no MEC, com o potencialmente menor cuidado na movimentação de materiais, designadamente no caso de ser manual (salienta-se a operação de solidarização de aduelas).

9.12.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: A movimentação manual de cargas é necessária na montagem de dispositivos de estabilização, designadamente de cambotas. Habitualmente, utilizam-se soluções mecânicas tradicionais para minimizar este risco [92], designadamente os acessórios fixos à ponteira do braço do equipamento [8]. No entanto, mantendo-se uma elevada manipulação, continuam a verificar-se imensos acidentes por entalamento ou esmagamento.

Medida preventiva proposta: Mecanização total de aplicação de dispositivos de estabilização

Um dos modos para impedir este facto é fazer desaparecer o risco. Isso pode ser alcançado se o trabalhador não tiver de manusear as cambotas e os restantes dispositivos de estabilização. A automatização gradual deste processo pode ser o primeiro passo para minimizar o risco. Esta automatização pode aparecer, por ex., através da utilização de manipuladores hidráulicos (Figura 319), que facilitam o trabalho, reduzindo também o tempo necessário para instalar as cambotas, aumentando os níveis de segurança [346] quanto à queda de objetos ou riscos associados a contacto com objetos ou materiais. O operador está situado longe da área sem proteção (área de aplicação dos dispositivos de estabilização), comandando esta tarefa a partir da cabine (Figura 320), e deixando que o equipamento os aplique, garantindo, para além de uma maior segurança, uma maior qualidade de trabalho e maior rapidez de execução [8].



Fig.319-Furação automatizada [137]



Fig.320- Furação automatizada [137]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,47$) revela-se como razoável (ainda que aproximando-se do "Bastante relevante"), indiciando que a sua implementação não é pertinente.

Perigo identificado: A movimentação de cargas em poços é, muitas vezes, pela queda das mesmas para o fundo do poço, causa de ocorrência de AT por entalamento ou esmagamento pelas cargas que estão a ser movimentadas mecanicamente, designadamente em alturas de visibilidade reduzida que provoquem limitações na visualização das cargas em elevação.

Medida preventiva proposta: Sinalização de movimentação de cargas em poços com sinalização visual

Durante a movimentação de cargas em poços, um dos modos para avisar os trabalhadores para se retirarem da prumada da carga em movimentação para uma zona sem risco é a utilização de sistemas de alerta visual e sonoro aquando da movimentação de cargas.

Este tipo de sistema emite um alerta visual para quem estiver em zonas de risco, emitindo também um sinal sonoro (Figura 321) durante a descida de carga. O sistema pode ser posicionado no fundo de um poço, com uma luz fixa que se ativa aquando da movimentação de cargas, ou que se fixa magneticamente à própria carga, permitindo assim uma melhor visualização da mesma.

A fixação à própria carga deve ser realizada em alturas de pouca luminosidade. Estas luzes (Figura 322) permitem identificar facilmente o objeto em movimentação [348], dando luminosidade aos seus extremos, podendo o sinal luminoso ser diferenciado consoante o tipo de carga em movimentação.



Fig.321-Sinalização luminosa[348]



Fig.322-Luzes magnéticas[348]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,06$) revela-se como pouco razoável, indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.13. Atropelamento

9.13.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* – 2º lugar - Nr=372 / MET - *Ranking* - 2º lugar - Nr=187

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (90%) revela uma concordância extremamente relevante, sendo os níveis de concordância os mais relevantes encontrados neste estudo.

Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no MEC e no MET, em segundo lugar, fruto da existência, no mesmo espaço e ao mesmo tempo, de equipamentos móveis pesados e trabalhadores apeados. Em termos do MEC, os resultados vão ao encontro do indicado num estudo inicial de Tender, que já referia ATRP como um dos principais riscos [2]. A diferença percentual (99%) obtida entre os valores de Nr é muitíssimo relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível da quantidade e tipo de equipamentos móveis utilizados.

Salienta-se o posicionamento deste risco em 2º lugar na 1F e 2F do MEC, facto que pode ser explicado pela presença simultânea de trabalhadores e equipamentos no mesmo espaço confinado, durante todas as tarefas de instalação de soluções de estabilização. O 2º lugar atribuído na 3F no MEC pode ser justificado com a circulação de equipamentos móveis (designadamente multicarregadoras e autobetoneiras) no espaço de trabalho durante os trabalhos de revestimento final. O 1º lugar atribuído (*ex-aequo*) no MET pode ser justificado com a remoção de escombros por locomotiva e com a zona crítica no final do *backup* da tuneladora. O 2º lugar atribuído na 3F do MET pode ser justificado com as movimentações de locomotivas nas proximidades de locais de trabalho, bem como com a chegada de aduelas a locais de trabalho e respetiva colocação na posição final. Analisam-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC - Utilização de diversos equipamentos móveis (sobre rodas, lagartas ou carris) para escavação em zona restrita de face de escavação (Figura 323).

MET - Utilização de um único equipamento, automatizado (Figura 324), para escavação.



Fig.323-Trabalhos em face de escavação [31]



Fig.324-Cabina de controlo [205]

MEC - Utilização abundante de equipamentos móveis de carga e remoção de escombros (pá carregadora, *dumpers*, camiões ou carris) em zona adjacente à face de escavação (Figura 325).

MET - Utilização de menor número de equipamentos para carga e remoção de escombros, mas que provocam, no tardoz de tuneladora, situações de risco [109] de atropelamento [15] (Figura 326).



Fig.325-Remoção de escombros com *dumper* [31]



Fig.326-Locomotiva de transporte [334]

MEC - Os equipamentos móveis utilizados para remoção de escombros e transporte de trabalhadores e materiais não têm trajeto definido e possuem ângulos mortos [2] (Figura 327).

MET - Os equipamentos para transporte de trabalhadores e materiais têm direção orientada pela direção dos carris (Figura 328) e um menor número de ângulos mortos.

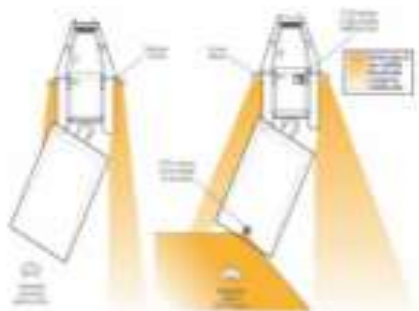


Fig.327-Ângulo morto de *dumper* [271]



Fig.328-Vagão de transporte trabalhadores [196]

MEC - Numa falha de travões em troço descendente, os *dumpers* (Figura 329) e os camiões podem ser desviados, pelos condutores, para os hasteais.

MEC - As locomotivas, por ex., no caso de desacoplamento [92], não se podem desviar do alinhamento dos carris (Figura 330), avançando intempestivamente na direção definida por estes.



Fig.329-Alinhamento de circulação de *dumper* [31]



Fig.330-Alinhamento de carris de tuneladora[58]

MEC - As manobras de equipamentos móveis podem provocar o entalamento de trabalhadores entre hasteais (Figura 331) e estrutura do equipamento [109].

MET - A tuneladora ocupa a secção transversal completa, não permitindo a presença de trabalhadores no mesmo plano de secção transversal (Figura 332).



Fig.331-Trabalhador junto a hasteal [349]



Fig.332-Secção transversal [334]

MEC - Utilização massiva de multicarregadoras e autobetoneiras (Figura 333) para betão projetado do revestimento primário.

MET - O betão para projeção de revestimento primário é transportado para frentes de escavação, por ex., através de tambores (Figura 334).



Fig.333-Revestimento primário [31]



Fig.334-Equipamento para transporte de betão [206]

MEC - Para aplicar a impermeabilização e as armaduras, materiais (telas,varões,etc.) têm de ser transportados até à frente de trabalho por camiões ou multicarregadoras (Figura 335).

MET - Apenas existe a necessidade de transporte de aduelas para o interior (Figura 336). Os restantes materiais a transportar-líquidos, *grout*, combustíveis, gorduras-possuem um menor volume.



Fig.335-Camião de transporte de armaduras [31]



Fig.336-Transporte de aduelas [319]

MEC - Utilização massiva de autobetoneiras para revestimento definitivo, sendo estas, muitas vezes, obrigadas a manobras meticulosas que nem sempre correm bem (Figura 337).

MET – Ausência de circulação de autobetoneiras no interior do túnel, dado a aduela ser construída no exterior (Figura 338).



Fig.337-Incidente com autobetoneira [31]



Fig.338-Armazenamento de aduelas [319]

9.13.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Nr(1F)=495)>(Nr(2F)=315)>(Nr(3F)=305). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco confirma a hierarquização geral. O nível de risco, não tolerável, atribuído a 1F pode ser justificado pela elevada utilização de equipamentos móveis nesta fase. O nível de risco, também não tolerável, atribuído a 2F pode ser justificado pelo exíguo espaço em que muitas vezes as operações de melhoramento de características de maciço são realizadas. O nível de risco, também não tolerável, atribuído a 3F pode ser justificado pela elevada movimentação de equipamentos, para transporte de materiais e pessoas, afetos a 3F.

b) MET-(Nr(1F)=245)>(Nr(3F)=167)>(Nr(2F)=148). Tendência global Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)

A hierarquização de risco contraria a hierarquização geral, posicionando a 3F como mais elevada do que a 2F. O nível de risco de 1F, não tolerável, pode ser justificado pela quantidade de equipamentos e trabalhadores envolvidos nesta fase. O facto de 3F apresentar um nível de risco superior a 2F pode ser justificado pela movimentação de equipamentos de transporte de aduelas para a zona do eretor.

9.13.3. Análise de influência de cenários

a) MEC-(Ir(C2)=1,7)>(Ir(C1)=0,6)>(Ir(C3)=0,5). Influência global Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)

A hierarquização de influência atribuída pelos inquiridos a este cenário contraria a hierarquização geral, posicionando o C1 como mais relevante que o C3. A influência cimeira atribuída a C2, não tolerável, pode justificar-se pela implementação de diversas tarefas simultâneas para redução de prazo [123] e pelo menor cuidado por parte de manobreadores e peões durante os trabalhos, quer na frente de escavação quer em zonas traseiras. Há também um maior volume de equipamentos [123] e maiores velocidades nos equipamentos móveis de transporte de escombros para vazadouro, designadamente pelo facto de esta atividade estar muitas vezes atribuída a subempreiteiros vinculados a prazos muito restritos, o que provoca o aumento de risco de atropelamento. Pode ainda ocorrer um menor nível de manutenção, para gastar menos tempo. A posição

atribuída a C1 face a C3 pode justificar-se com o facto de C1 obrigar a que seja utilizado um maior número de equipamentos móveis associados a implementação de soluções de estabilização de emergência.

b) MET-(Ir(C2)=1,4)>(Ir(C1)=0,5)>(Ir(C3)=0,0). Influência global Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)

A hierarquização de influência atribuída pelos inquiridos a este cenário confirma a hierarquização geral. A posição cimeira atribuída a C2 pode justificar-se com a concentração de equipamentos móveis, por ex. de transporte de materiais em zonas de trabalho, que interfiram com outras zonas de trabalho.

9.13.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: A existência de ângulos mortos na manobra de equipamentos móveis revela-se como uma agravante, designadamente nas operações de marcha atrás. Saliente-se a pá carregadora como um dos equipamentos que mais ATM provoca [131]. O facto de o manobrador de um equipamento saber que existe alguém nas proximidades é fulcral para evitar o atropelamento. No entanto, nem sempre é suficiente o estabelecimento de contacto visual entre o manobrador e o trabalhador apeado aquando da aproximação.

Medida preventiva proposta: Dispositivos de deteção de pessoas

Os sistemas de deteção em tempo real de pessoas na envolvente são uma alternativa aos espelhos retrovisores (que apenas permitem a visualização de áreas laterais) ou sinaleiros [77], garantindo uma melhor visibilidade ao manobrador [131]. Estes dispositivos podem assumir duas formas. A primeira, é uma câmara de vídeo instalada na parte traseira do equipamento (Figura 339)-implementada nos túneis transalpinos com resultados inequívocos em termos de segurança [131]. O sistema de câmara, utilizado no TdM para os *dumpers*, é constituído por uma câmara na parte traseira do equipamento e um monitor na cabina do condutor, e permite ver a envolvente do equipamento [77]. A segunda, é a utilização de câmaras a 360°, sistema mais evoluído, que permite ao manobrador tomar conhecimento de tudo o que está na envolvente de 360° do equipamento. Este sistema também funciona através de diversas câmaras, centralizadas num *software* que, descodificando a imagem de cada uma, produz num ecrã uma simulação de toda a envolvente, permitindo ao manobrador ficar a saber se está alguém (ou mesmo um obstáculo que provoque danos) na sua envolvente, passando a não haver ângulos mortos (Figura 340), diferenciando peões de outros obstáculos que possam causar danos, e eventualmente tendo aviso sonoro no caso de aproximação de risco [350].



Fig.339-Câmaras [277]

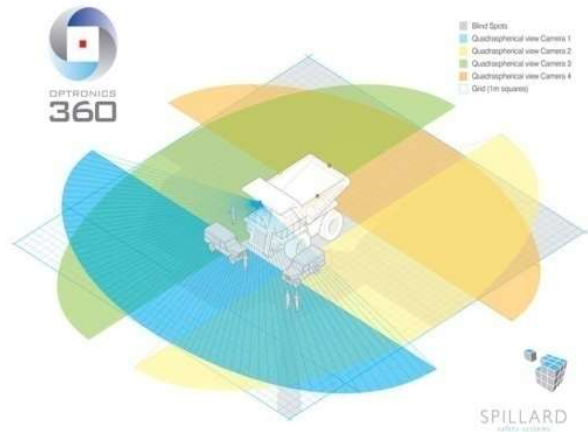


Fig.340-Área identificada [351]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,47$) revela-se como razoável (ainda que aproximando-se do "Bastante relevante"), indiciando que a sua implementação não é pertinente.

Perigo identificado: A permanência de trabalhadores e equipamentos no mesmo espaço físico cria o risco de atropelamento. Habitualmente, utilizam-se zonas de restrição ou exclusão (nas zonas onde o risco é mais elevado [108]), limitação de uso de telemóvel, sinalização refletora em equipamentos, sistemas de sinalização gestual ou semaforização ou, em último caso, vestuário refletor.

Medida preventiva proposta: Plataformas suspensas

A utilização de plataformas suspensas é um exemplo da retirada do trabalhador do local de risco e da automatização [8], permitindo a realização de trabalhos a dois níveis diferentes. A plataforma suspensa integra todas as infraestruturas necessárias para a escavação: compressores, instalações sanitárias, manga de ventilação, tapete transportador de produtos de escavação, contentores, *deduster* e infraestruturas elétricas. As plataformas são instaladas fixas em carris aéreos, localizados na abóbada ou acopladas a pórticos, e são movidas por macacos hidráulicos [8]. A área inferior fica, assim, livre para trabalhos na soleira [8] e para a circulação e estacionamento de equipamentos móveis, não necessitando os trabalhadores de circular apeados por aquela zona (Figura 341). As vantagens da sua utilização são: separação e racionalização de zonas e fluxos de trabalho [352], redução de custos, redução de trabalho manual pesado [8], redução de emissão de gases, redução de choque contra ou atropelamento de trabalhadores [8] e melhoria de iluminação [352], ou seja, alto rendimento com maiores níveis de segurança [352]. Este tipo de solução tem sido experimentado até secções de 70m², como em Vereina (túnel de Lotschbert) e Sedrun (túnel de S.Gotardo) [352].



Fig.341-Plataforma suspensa [352]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,50$) revela-se como razoável (ainda que aproximando-se do “Bastante relevante”) indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.14. Contacto com agentes biológicos

9.14.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* – 12º lugar - Nr=30 / MET - *Ranking* - 12º lugar - Nr=29

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Nr superior ao MEC (23,3%) é reduzida, no entanto verifica-se que a percentagem que atribuiu um Nr igual nos dois métodos (63,3%) é relevante. Em termos de *ranking*, este risco encontra-se: no caso do MEC e do MET, no último lugar da tabela. A diferença percentual (3%) obtida entre os valores de Nr é muito pouco significativa e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais inseguro do que o MET.

MEC - Durante a escavação, os trabalhadores estão em contacto direto quer com diversos materiais e ferramentas quer com o maciço eventualmente contaminado (Figura 342).

MET- O contacto não é tão elevado e direto, pela automatização do equipamento (Figura 343).



Fig.342-Trabalhadores muito próximos de maciço [31]



Fig.343-Grippers para avanço de escavação [319]

MEC- É utilizada uma quantidade maior de trabalhadores, com um maior contacto direto entre eles, aumentando a probabilidade de se propagarem vírus e bactérias (Figura 344).

MEC - Por haver menos trabalhadores e mais distanciados, a probabilidade de contágio não é tão elevada (Figura 345).



Fig.344-Trabalhadores muito próximos entre eles [31]

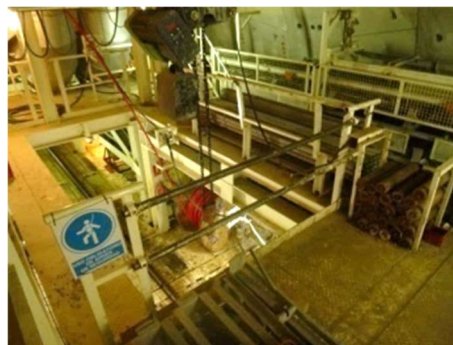


Fig.345-Plataformas a diferentes níveis [58]

9.14.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC

$(Nr(1F)=44)>(Nr(2F)=28)>(Nr(3F)=19)$. Tendência global $Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)$

A hierarquização de risco atribuída pelos inquiridos a este risco confirma a hierarquização geral. A posição de 1F pode ser justificada com o facto de ser nesta altura que existe um maior contacto com o maciço.

b) MET

$(Nr(1F)=47)>(Nr(2F)=22)>(Nr(3F)=19)$. Tendência global $Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)$

A hierarquização de risco confirma a hierarquização geral. Este facto pode ser explicado pelo contacto entre trabalhadores e os solos, designadamente em zonas próximas a zonas de carregamento ou transferência de escombros.

9.14.3. Análise de influência de cenários

a) MEC

$(Ir(C1)=0,7)>(Ir(C2)=0,5)>(Ir(C3)=0,4)$. Influência global $Ir(C2)>Ir(C3)>Ir(C1)$

A hierarquização de influência contraria a hierarquização geral, posicionando o C1 como mais influente do que o C2 e C3. A influência cimeira atribuída a C1 pode justificar-se com o facto de um maciço fragilizado obrigar a um maior contacto de trabalhadores com este, bem como um maior contacto entre eles, dado ser necessário um maior volume de trabalho manual.

b) MET

$(Ir(C1)=0,7)>(Ir(C2)=0,4)>(Ir(C3)=0,0)$. Influência global $Ir(C2)>Ir(C1)>Ir(C3)$

A hierarquização de influência contraria a hierarquização geral, posicionando o C1 como com Ir superior a C2. A influência cimeira atribuída a C1 pode justificar-se com um maior contacto com maciço fragilizado.

9.14.4. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: Muitas das questões relacionadas com riscos biológicos, designadamente infeções alimentares, prendem-se com a falta de hábitos de higiene pessoal, nomeadamente antes das refeições (por ex., mãos não higienizadas).

Medida preventiva proposta: Reforço de hábitos de higiene pessoal

A montagem de “centros de limpeza” (Figura 346) nas principais instalações sanitárias pode ser o primeiro passo para conseguir que os trabalhadores tenham uma higiene pessoal mais aprimorada. A solução agora proposta minimiza a possibilidade de contaminação de mãos, potenciando também a promoção do seu bom estado. O centro de limpeza proposto engloba três produtos diferentes (Figura 347), correspondentes a três momentos de tratamento diferentes: para proteção de mãos (a ser aplicado antes do início de trabalhos ou depois de lavagem de mãos); para limpeza (para final de cada jornada de trabalho); para hidratação (para o final de dia de trabalho).



Fig.346-Perspetiva geral de centro de limpeza [277]



Fig.347-Centro de limpeza [277]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,10$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.15. Ruído

9.15.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* – 1º lugar - Pr=1,26 / MET - *Ranking* - 1º lugar (ex-aequo) - pr=0,93

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Pr superior ao MEC (53,3%) revela uma concordância relevante. Em termos de *ranking*, este fator ocupacional encontra-se em primeiro lugar, quer no MEC, quer no MET. A diferença percentual (35%) obtida entre os valores de Pr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível do tipo e quantidade de equipamentos móveis e fixos utilizados.

Salienta-se o posicionamento hierárquico deste fator ocupacional em 1º lugar na 1F do e 2F do MEC, facto que pode ser explicado com o contacto direto com maciço para realizar o avanço e com a necessidade de furação, para montagem de dispositivos de estabilização. O 1º lugar na 1F do MET pode ser justificado com o ruído de funcionamento da tuneladora.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais insalubre do que o MET.

MEC - A picagem de maciço com martelo hidráulico e a furação para montagem de varas de explosivos (Figura 348) ou dispositivos de estabilização produzem um nível de ruído elevado.

MET - A escavação (Figura 349) e montagem de dispositivos de estabilização implica um menor número de trabalhadores nas zonas de risco de ruído elevado.



Fig.348-Picagem de maciço rochoso [31]



Fig.349-Cabeça de corte [31]

MEC - Existe um pico de ruído quando os blocos de escombros são deixados cair no *dumper* [353] (Figura 350). Saliente-se também o ruído que os equipamentos de britagem podem produzir.

MET - Atendendo à granulometria do escombro, tendencialmente mais fino (Figura 351), o nível de ruído tem tendência para ser menor.



Fig.350-Carregamento de escombro [31]



Fig.351-Vagões com escombro [319]

MEC - Os manobradores saem diversas vezes das cabinas, por ex., para apoio a tarefas de montagem de dispositivos de estabilização [230] (Figura 352), ficando sujeitos a níveis elevados de ruído.

MET - O número de trabalhadores sujeitos a ruído é menor. Saliente-se o operador de cabina, que está num espaço mais fechado (Figura 353), mas que, pontualmente, também sai da cabine.



Fig.352-Manobrador fora de cabina [324]



Fig.353-Cabina de controlo [205]

MEC - Na realização de revestimentos definitivos, existem diversas atividades que produzem ruído elevado, tais como o corte de varões com rebarbadora e o corte de peças para cofragem (Figura 354).

MET - Não é necessária a realização de operações de corte de elementos, dado estes serem moldados consoante as medidas necessárias e aplicados diretamente pelo eretor (Figura 355).



Fig.354-Peças de madeira para cofragem [31]



Fig.355-Montagem de aduela [205]

MEC - Os vibradores integrados no molde de cofragem produzem um ruído bastante elevado, durante a betonagem (Figura 356), e que se repercute ao longo do túnel.

MET - A betonagem de revestimento final (aduelas) é realizada no exterior do túnel (Figura 357), não existindo a dispersão de ruído pelo túnel.



Fig.356-Vibradores incorporados em molde [31]



Fig.357-Zona de preparação de aduelas [334]

9.15.2. Hierarquização de fator ocupacional por fase de trabalho

a) MEC

$(Pr(1F)=1,8)>(Pr(2F)=1,2)>(Pr(3F)=0,7)$. Tendência global $Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)$

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral. O nível de propensão de 1F, não tolerável, pode ser explicado pelo nível de ruído associado a operações, por ex., de furação de maciço, que implicam o contacto direto com este. Refira-se que se esperava que o Pr relativo a 3F fosse superior, devido a ruído produzido pelo vibrador de molde de cofragem de revestimento definitivo.

b) MET

$(Pr(1F)=1,4)>(Pr(2F)=0,9)>(Pr(3F)=0,6)$ sendo a tendência global $Nr(1F)> Nr(2F)> Nr(3F)$

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral.

O nível de propensão de 1F, não tolerável, pode, como no MET, ser explicado pelo nível de ruído associado a operações que implicam o contacto direto com o maciço.

9.15.3. Medidas Preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: O ambiente de trabalho na face de escavação é ruidoso e, muitas vezes, torna-se difícil ter uma conversa ou uma simples troca de informação. Adicionalmente, as atividades que aí se desenrolam geralmente exigem proteção de vias respiratórias (devido a poeiras). Se esta proteção for alcançada com capacetes pressurizados (necessários para providenciar ar fresco ao trabalhador e, ao mesmo tempo, proteger contra poeiras), caso que é principalmente típico na projeção de betão, pode dificultar a comunicação entre o operador de projeção e as chefias que se encontram nas proximidades, interferindo na conversa, disfarçar alarmes, ou impedir mesmo que se ouçam eventuais estalidos provocados pelo maciço rochoso [151].

Medida preventiva proposta: Equipamentos *Bluetooth* para comunicação entre operadores e chefias

A utilização deste sistema de comunicação permite a conversação em áreas ruidosas, sem necessidade de remover a proteção auditiva [108]. A tecnologia proposta para este tipo de equipamentos é um microfone (Figura 358) instalado num capacete, permitindo a ligação direta e aumentando a segurança e eficiência dos trabalhos. Com esta opção de utilização de equipamentos *Bluetooth* nos capacetes pressurizados, consegue-se um canal direto de comunicações, que não interfere com outros equipamentos no túnel, entre o operador de projeção de betão (Figura 359) e a chefia responsável.



Fig.358-Dispositivos *Bluetooth* [354]



Fig.359-Zona de trabalho [354]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,53$) revela-se como bastante relevante, indiciando que a sua implementação é de elevada pertinência.

Perigo identificado: O ambiente subterrâneo é tendencialmente ruidoso durante grande parte do ciclo de escavação, devido ao efeito de reverberação de ruído nas paredes do túnel, podendo ocorrer a conjugação de ruídos de diversas fontes. Diversas medidas de proteção organizacionais (isolamento de cabine de operador, isolar o trabalhador do ruído), coletivas (sinalização de locais com ruído elevado), ou individuais (uso de proteção auricular) são tomadas. Nem sempre estas reduzem o ruído até ao nível pretendido.

Medida preventiva proposta: Refúgios de ruído

No caso de a opção ser não retirar os trabalhadores do espaço subterrâneo durante um determinado período de tempo (opção geralmente inexecutável e repudiada em termos produtivos), a criação de locais reservados, designados por “refúgios de ruído” pode ser um dos meios para atingir este fim. O refúgio encontra-se em locais específicos ao longo do túnel, podendo estar situado na tuneladora, se for este o método adotado, e tem um isolamento que providencia níveis de ruído inferiores, podendo também assumir funções de câmara de refúgio (Figura 360).



Fig.360–Refúgio de ruído [296]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,13$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.16. Vibrações

9.16.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* – 2º lugar - Pr=1,11 / MET - *Ranking* - 3º lugar - Pr=0,71

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Pr superior ao MEC (76,7%) revela uma concordância bastante relevante.

Em termos de *ranking*, este fator ocupacional encontra-se: no caso do MEC e do MET, no meio da tabela. A diferença percentual (56%) obtida entre os valores de Pr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente no tipo e quantidade de equipamentos móveis utilizados.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais insalubre do que o MET.

MEC - Para a escavação e carga de escombros, são utilizados equipamentos móveis (por ex., pá carregadora) (Figura 361), que produzem um relevante nível de vibrações durante a movimentação.

MET - A escavação com tuneladora (Figura 362), designadamente em tuneladoras novas, apresenta baixos níveis de vibração [12]; o mesmo poderá não ocorrer com equipamentos mais antigos.



Fig.361-Pá carregadora em funcionamento [35]



Fig.362-Corpo de tuneladora [334]

MEC - Os *dumpers*/camiões têm de percorrer, para remoção de escombros, um trajeto com pavimento nem sempre regularizado (Figura 363), o que leva a vibrações relevantes.

MET - O pavimento por onde circulam os equipamentos de remoção de escombros é relativamente regular (Figura 364) e menos propenso a vibrações.



Fig.363-Circulação de *dumper* [31]



Fig.364-Pavimento com aduela betonada [334]

MEC - Os meios de transporte de trabalhadores para as frentes de obra têm de percorrer um pavimento que pode não estar regularizado (Figura 365).

MET - O pavimento por onde circulam os equipamentos de transporte de trabalhadores é, geralmente, mais regular e nivelado do que no MEC (Figura 366).



Fig.365-Pavimento com irregularidades [31]



Fig.366-Pavimento betonado [334]

MEC - Os trabalhadores têm de realizar diversas operações com ferramentas pneumáticas, tais como furação de maciço para ensaios ou retirada de provetes (Figura 367).

MET - Os trabalhos em que é necessário utilizar ferramentas pneumáticas são em menor número, designadamente para solidarização de aduelas (Figura 368).



Fig.367-Furação para provete [31]



Fig.368-Solidarização de aduelas [206]

MEC - A existência de rebaixo implica a picagem do betão de arranque de hasteal para encaixar o betão de hasteal (Figura 369).

MET - Não implica a realização desta atividade, dado que o arranque e o hasteal são realizados conjuntamente e com recurso a aduelas pré-fabricadas (Figura 370).



Fig.369-Picagem de betão [31]



Fig.370-Aduela em hasteal [58]

MEC - A execução de rebaixo implica a vibração manual de betão em sapata (Figura 371).

MET - Este método construtivo não implica a realização de rebaixo (Figura 372).



Fig.371-Vibração de betão em sapata de hasteal [31]



Fig.372-Secção transversal de tuneladora [205]

MEC - Utilização massiva de multicarregadoras produz uma elevada oscilação no cesto, decorrente de irregularidades no pavimento por onde circulam (Figura 373).

MET - Atendendo às características deste método construtivo (Figura 374), o volume de utilização de multicarregadoras é mais reduzido.



Fig.373-Trabalhos de multicarregadora [31]



Fig.374-Zona de trabalhos [58]

MEC - Na betonagem de revestimento definitivo, os trabalhadores estão sujeitos a vibração, induzida por passagem/pulsar de betão na mangueira proveniente da bomba de betão (Figura 375).

MET - Durante a aplicação de revestimentos definitivos, não existe contacto manual com mangueiras de betão, dado a aduela ser betonada no exterior (Figura 376).



Fig.375-Mangueira de betonagem [31]



Fig.376-Zona de execução de aduelas [236]

9.16.2. Hierarquização de fator ocupacional por fase de trabalho

a) MEC-(Pr(1F)=1,5)>(Pr(2F)=0,9)>(Pr(3F)=0,9). Tendência global Pr(1F)>Pr(2F)>Pr(3F)

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral. O valor de Pr atribuído a 1F, não tolerável, pode estar relacionado com a elevada exposição a vibrações que os manobreadores de equipamentos móveis têm e que na 2F e 3F não está presente.

b) MET-(Pr(1F)=1,0)>(Pr(2F)=0,7)>(Pr(3F)=0,5). Tendência global Pr(1F)> Pr(2F)> Pr(3F)

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral. O valor de Pr atribuído a 1F pode estar relacionado com as vibrações induzidas pela própria tuneladora.

9.16.3. Medidas Preventivas Estado de Arte

Perigo identificado: As vibrações de corpo inteiro contribuem para as dores lombares [169], e o seu nível depende de muitos fatores, sendo um deles as condições irregulares de pavimento por onde circulam os equipamentos e no qual as vibrações se transmitem, devido a contacto com pneus. Esta situação ocorre com mais frequência nas viagens dos *dumpers* [190], no MEC, para remoção de escombros da face de escavação para vazadouro. Adicionalmente, um pavimento irregular poderá implicar maiores gastos de combustível. Um dos meios frequentemente utilizados é o arranjo periódico dos pavimentos, tarefa que absorve recursos logísticos e financeiros: pá carregadora, niveladora e cilindro, durante muitas horas.

Medida preventiva proposta: Betonagem de soleira

A manutenção de vias rodoviárias é necessária para reduzir a exposição de condutores [189]. A betonagem de soleira é uma ação de execução única, com o potencial de reduzir vibrações [108] e que pode perdurar durante vários meses. A melhoria da qualidade do pavimento, betonado gradual e imediatamente após cada avanço na frente de escavação (Figura 377), propicia: minimização de vibrações; aumento de rendimento (velocidade superior, bem como tempos de deslocação entre face de escavação e vazadouro mais reduzidos) [77]; diminuição de desgaste [182] e consequentes reduções de custos de manutenção de equipamentos [77]; poupança do tempo que seria gasto em frequentes reformulações de pavimento [182]; mais rápido acesso de equipas de emergência aos locais [77]; menor produção de poeiras e ruído, associada à circulação de equipamentos longe das zonas de escavação onde se estão a desenvolver outros trabalhos [14]; facilidade de introdução de sistema de drenagem de águas de maciço rochoso [77], bem como outros sistemas de infraestruturas [182] (Figura 378). No caso de a betonagem ser realizada com material proveniente de escavação, as poupanças serão relevantes [182].



Fig.377-Corte transversal[277]



Fig.378-Soleira betonada [277]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,5$) revela-se como bastante relevante indiciando que a sua implementação é de elevada pertinência.

Perigo identificado: A transmissão de vibrações mão-braço acontece principalmente por causa da utilização de ferramentas manuais. A substituição de ferramentas manuais por equipamentos mecanizados ou com controlo remoto e a rotatividade de trabalhadores são medidas preventivas de carácter iminente teórico e de difícil colocação em prática. Eventualmente, até podem ser mais eficazes, mas são técnica e logisticamente de difícil implementação em obra.

Medida preventiva proposta: Medidor de pulso

Sendo as medidas de raiz de difícil implementação, e assumindo que as vibrações chegarão ao trabalhador num determinado nível, que pode ser acima do legalmente admissível, a opção reside no controlo dos níveis de vibrações recebidas pelo trabalhador. A utilização de um medidor posicionado no pulso (Figura 379), um primeiro passo para aferir se o nível de vibrações é aceitável, permite a monitorização contínua do nível de vibrações, mostrando essa informação em tempo real e avisando sonoramente se os valores limite forem excedidos, permitindo assim ao manobrador intervir rapidamente e, se necessário, até alterar as condições em que está a realizar o trabalho. Para além disso, o registo produzido fica gravado para memória futura.



Fig.379-Medidor de pulso [355]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=0,83$) revela-se como pouco razoável, indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.17. Temperaturas extremas/radiações

9.17.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 4º lugar - Pr=0,92 / MET - *Ranking* - 2º lugar – Pr=0,83

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Pr superior ao MEC (36,7%) é reduzida; no entanto, verifica-se que a percentagem que atribuiu um Pr igual nos dois métodos (43,3%) é relevante.

Em termos de *ranking*, este fator ocupacional encontra-se: no caso do MEC, em último lugar da tabela; no caso do MET, no início da tabela. A diferença percentual (11%) obtida entre os valores de Pr é pouco relevante e pode ser explicada pela ténue diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível de quantidade de mão-de-obra utilizada.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais insalubre do que o MET.

MEC – O ar insuflado na face de escavação, se for a opção de ventilação, retorna ao emboquilhamento, entrando em contacto com hasteais/abóbada ainda não revestidos (Figura 380), aumentando a sua temperatura.

MET - As paredes já se encontram revestidas aquando de insuflação de ar (Figura 381), pelo que o gradiente de temperatura entre o ar e a parede é menor.



Fig.380-Hasteais ainda não revestidos [31]



Fig.381-Paredes revestidas em tuneladora [58]

MEC – A utilização massiva de equipamentos móveis a diesel, para transporte de trabalhadores e materiais (Figura 382), origina temperaturas mais altas do que no MET [284].

MET – O número de equipamentos a diesel utilizados (Figura 383) é menor do que no MEC. O funcionamento dos discos de corte pode propiciar a elevação de temperatura.



Fig.382-Remoção de escombros [31]

Fig.383-Vagões de transporte de escombros [325]

MEC - É realizado maior esforço físico, que obriga o trabalhador a suportar temperaturas mais altas, situação eventualmente agravada pela utilização de vestuário completo desadequado (Figura 384).

MET - Pelo seu carácter automatizado (Figura 385), com menor carga de mão-de-obra, implica menor esforço físico.



Fig.384-Trabalho em esforço físico [31]



Fig.385-Panorama zona de trabalhos [127]

MEC - Na execução de revestimentos definitivos, é realizado um conjunto de trabalhos a quente, tais como termo-soldaduras (Figura 386), corte de varões ou peças de madeira, ou rebarbagem.

MET - Não são necessários trabalhos a quente para montagem de aduela (Figura 387).



Fig.386-Termosoldadura de telas [31]



Fig.387-Local de preparação de aduelas [319]

MEC - A cura do betão de revestimento definitivo ocorre dentro do túnel (Figura 388), fazendo com que a temperatura das paredes do túnel se transmita ao ar que circula.

MET - A cura do betão de revestimento final ocorre no exterior do túnel, sendo que a aduela é levada para o túnel com a cura em processo avançado (Figura 389).



Fig.388-Finalização de betonagem [31]



Fig.389-Transporte de aduela [58]

MEC - Existe uma necessidade de utilização de aparelhos laser para marcação de frente de escavação e monitorização de maciço (Figura 390).

MET - O direcionamento de escavação é realizado maioritariamente eletronicamente (Figura 391) e a monitorização do maciço é de volume mais reduzido.



Fig.390-Mapeamento de frente de escavação[31]



Fig.391-Sala de controlo [210]

MEC - No caso de aparecimento de radão, a exposição de trabalhadores vai ser elevada, dada a sua grande proximidade e contacto com maciço em escavação (Figura 392).

MET - A proximidade de trabalhadores à fonte de radão é limitada pela cabeça de tuneladora (Figura 393).



Fig.392-Trabalhadores próximos do maciço [31] ,



Fig.393- Cabeça de escavação [236]

9.17.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Pr(1F)=1,1)>(Pr(2F)=0,9)>(Pr(3F)=0,7). Tendência global Pr(1F)> Pr(2F)> Pr(3F)

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral. A posição cimeira de 1F pode ser justificada pelo facto de os trabalhos de escavação serem realizados num espaço bastante limitado e confinado e onde circulam bastantes equipamentos móveis.

b) MET-(Pr(1F)=1,0)>(Pr(2F)=0,8)>(Pr(3F)=0,7). Tendência global Pr(1F)> Pr(2F)> Pr(3F)

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral. A posição cimeira atribuída a 1F pode ser justificada pela temperatura associada a operações de avanço de tuneladora.

9.17.3. Medidas Preventivas Estado de Arte

Perigo identificado: A exposição a temperaturas altas, muitas vezes para além do confortável, leva a que a primeira atitude dos trabalhadores, na impossibilidade de saírem de frentes de trabalho, passe por tirar peças de roupa (que deveriam ser adaptadas a ambientes quentes [108]), beber água, e trabalhar mais devagar [198], opção com nítido impacto em rendimentos. Num túnel varado, pelo qual passe uma corrente de ar de temperatura baixa a uma velocidade razoável, a temperatura ambiente pode baixar dramaticamente, com consequências físicas e psicológicas também pelo frio. Neste caso, o trabalhador tenta levar mais roupa, incluindo peças de roupa que podem interferir com a eficiência dos equipamentos de proteção individual e também ter impacto no processo produtivo. **Medida preventiva proposta: zonas de refúgio**

Para que o trabalhador não sofra consequências negativas, o ambiente térmico deve ser controlado [356]. O primeiro pensamento do trabalhador é procurar um local mais fresco para estar [198], no caso de calor, ou tentar encontrar um abrigo com menos frio [127], no caso de frio excessivo. Uma das soluções são os procedimentos de aclimatização [200]. Assim, considera-se a criação de zonas de refúgio [132], aquecidas ou refrigeradas [127], ao longo do túnel, que servirão para aclimatação dos trabalhadores. Ou seja, o trabalhador pode usufruir de pequenas pausas que permitam ao corpo voltar a aquecer ou arrefecer, aclimatizando-se ao ambiente de uma forma gradual e não brusca e melhorando a resposta fisiológica, ao otimizar a gestão da temperatura corporal [200]. O tempo de aclimatização não é consensual, acabando por ser um problema neste tipo de obra, dada a necessidade de entrada rápida no local de trabalho. Estes refúgios para aclimatização poderão também servir de refúgio para o caso de ruído excessivo ou no caso de emergência (Figura 394).



Fig.394-Local para refúgio [296]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,07$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação não é pertinente.

9.18. Stresse

9.18.1. Análise comparativa

MEC - *Ranking* - 3º lugar - Pr=1,08 / MET - *Ranking* - 1º lugar – Pr=0,93

A percentagem de inquiridos que atribuiu um Pr superior ao MEC (36,7%) é reduzida. No entanto, verifica-se que a percentagem que atribuiu um Pr igual nos dois métodos (50,0%) é relevante.

Em termos de *ranking*, este fator ocupacional encontra-se: no caso do MEC, no fundo da tabela; no caso do MET, em primeiro da tabela. A diferença percentual (16%) obtida entre os valores de Pr é bastante relevante e pode ser explicada pela diferença de natureza dos dois métodos, designadamente ao nível da mão-de-obra utilizada.

O 2º lugar hierárquico atribuído na 1F do MEC justifica-se pelo facto de esta atividade estar associada a períodos de maior nervosismo em obra, devido a situações de instabilidade do maciço que exigem, frequentemente, tomadas de decisão quanto a medidas corretivas e ações para as implementar quase imediatas. O 1º lugar hierárquico na 3F do MEC pode ser atribuído à pressão que cada uma das equipas de revestimento definitivo, designadamente a desmontagem de armaduras e betonagem, induzem nas que estão a realizar trabalhos preparatórios.

O 1º lugar hierárquico atribuído a STRS no MET pode ser justificado com a pressão induzida ao trabalhador por efeito de avanço de tuneladora.

O 1º lugar hierárquico atribuído na 2F do MET pode ser justificado com o stresse associado, como no MEC, à resolução de situações de emergência, que podem envolver uma simples queda de blocos ou mesmo um encravamento da tuneladora durante o seu funcionamento. O 1º lugar hierárquico atribuído na 3F do MET pode ser justificado com o stresse associado a processo logístico de chegada de aduelas a local de aplicação e respetiva montagem.

Analisa-se abaixo os motivos que podem justificar o facto de os inquiridos terem indicado o MEC como mais insalubre do que o MET.

MEC - Elevado trabalho manual (Figura 395), num ambiente ocupacional agressivo, agravado pelo regime de turnos, obrigando a esforços relevantes que induzem fadiga nos trabalhadores.

MET – Atendendo à automatização, implica um menor esforço físico (Figura 396) por parte dos trabalhadores e menor influência dos turnos.



Fig.395-Mão-de-obra para rebaixo [31]



Fig.396-Zona de receção de aduelas [277]

MEC - Atendendo ao carácter manual, existe alguma propensão para o local de trabalho nem sempre ser adequado ao trabalhador, levando a posturas instáveis ou em esforço (Figura 397).

MET - Atendendo à automatização do processo de escavação (Figura 398), a influência do tipo de trabalho no trabalhador pode ser menor.



Fig.397-Postura ergonómica desadequada [31]



Fig.398-Estrutura de tuneladora [236]

MEC - A escavação encontra-se muito dependente da velocidade de trabalho, levando a muitas pressões individuais para que determinadas tarefas sejam realizadas mais rapidamente (Figura 399).

MET - Atendendo a que a escavação é automatizada, a velocidade de cabeça de corte (Figura 400) e respetivo avanço revela-se limitada às capacidades da tuneladora.



Fig.399-Retirada de escombro [31]



Fig.400-Tuneladora em funcionamento [205]

MEC - Durante a impermeabilização, há tendência para existir pressão psicológica para que a mesma avance sem atrasar a montagem de armaduras e a betonagem. Na montagem de armaduras (Figura 401), existe tendência para haver uma pressão para que o trabalho avance com um rendimento tal que não atrase a betonagem (Figura 402).

MET - Atendendo à inexistência de impermeabilização e armaduras, a montagem de aduelas apenas se encontra dependente da escavação, neste caso, automatizada (Figura 403).



Fig.402-Armaduras junto a troço já betonado [31]



Fig.403-Betonagem de molde [31]



Fig.401-Tuneladora para escavação [236]

9.18.2. Hierarquização de riscos por fase de trabalho

a) MEC-(Pr(1F)=1,3)>(Pr(2F)=1,0)=(Pr(3F)=1,0). Tendência global Pr(1F)>Pr(2F)>Pr(3F)

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral. O posicionamento da 1F pode ser explicado pelo facto de a escavação ser a atividade que comanda o ritmo da execução dos trabalhos, estando todos os outros dependentes desta e, assim, sujeitos às pressões que possam surgir.

b) MET-(Pr(1F)=1,0)>(Pr(2F)=1,0)>(Pr(3F)=0,9). Tendência global Pr(1F)>Pr(2F)>Pr(3F)

A hierarquização de fatores ocupacionais atribuída pelos inquiridos a este fator ocupacional confirma a hierarquização geral. Analogamente ao caso do MEC, o posicionamento da 1F pode ser explicado pelo facto de a escavação ser a atividade que comanda o ritmo da execução dos trabalhos, estando todos os outros dependentes desta.

9.18.3. Medidas preventivas Estado da Arte

Perigo identificado: Uma das soluções adotadas nestas obras tem vindo a ser a automatização de tarefas. Ora, a automatização e a mecanização reduziram claramente o stresse físico, mas aumentaram, ao mesmo tempo, o stresse psicológico [123], potenciando a fadiga como resultante do prolongado esforço mental ou físico. Os níveis de segurança serão melhores, mas os níveis de saúde não. Para combater esses riscos, são geralmente utilizados instrumentos organizacionais, como instruções adequadas, informação, motivação e rotação de trabalhadores, que são importantes fatores para a redução do risco psicossocial [235]. No entanto, a fadiga é sempre difícil de detetar.

Medida preventiva proposta: Gestão de fadiga

Um dos meios passíveis de otimizar a interação entre trabalhadores e chefias intermédias, que representam um papel importante para redesenhar as condições de trabalho, é a criação de um meio de gerir a fadiga dos trabalhadores (Figura 404). A fadiga pode ocorrer por diversos motivos, seja por uma noite mal dormida, seja por um acumular de horas de trabalho sem o devido descanso. Isto dará azo a um aumento do risco. Havendo a possibilidade de uma chefia intermédia identificar sinais de fadiga óbvia no trabalhador (garantindo que não existe censura superior a esta ação), enviando-o conseqüentemente para o descanso, poderá evitar o aparecimento de situações de risco derivadas do cansaço. O período extra de descanso permitirá restabelecer as funções fisiológicas e aumentar o nível de alerta. O descanso poderá ser de 15 a 30 minutos mas não deverá durar um período suficiente que depois custe muito a acordar, e carece de registo, de modo a ser monitorizável. No caso de reincidências, o trabalhador poderá passar a ser alvo de acompanhamento médico específico. Naturalmente, este tipo de medida preventiva deve ser acompanhado de outros cuidados, tais como um bom regime nutricional, uma correta hidratação do corpo, evitar cafeína e bebidas energéticas ou alcoólicas, etc..

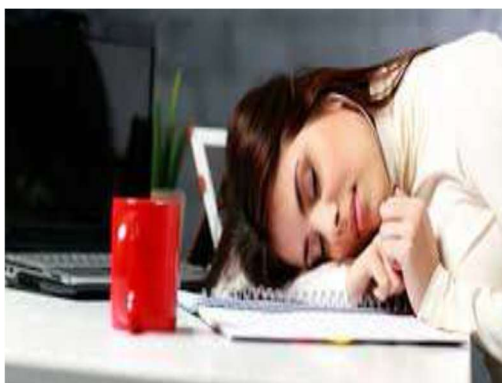


Fig.404-Situação de fadiga [357]

O grau de redução imposto por esta medida preventiva ($R_r=1,07$) revela-se como razoável, indiciando que a sua implementação não é pertinente.

10. RISCOS E FATORES OCUPACIONAIS ESPECÍFICOS A CADA UM DOS MÉTODOS

10.1. Enquadramento

Nos capítulos anteriores, foram abordados os riscos e fatores ocupacionais comuns aos dois métodos de escavação. Ora, conforme já referido, cada um destes métodos pode ainda apresentar riscos ou fatores ocupacionais que não são comuns ao outro método: o MEC pode apresentar riscos associados a utilização de explosivos e o MET pode apresentar riscos associados à realização de trabalhos em ambiente pressurizado. Este capítulo pretende então dar cumprimento ao objetivo nº 9 descrito no capítulo de introdução “**Caraterizar as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos**”, e dar resposta à questão de investigação nº 21 “**Quais as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos?**”.

10.2. Metodologia para investigação

De modo a aferir qual a pertinência das medidas preventivas propostas no que se refere ao uso de explosivos, tentou-se aferir qual o nível de pertinência das medidas preventivas propostas. No caso de ambiente pressurizado, irá apenas ser explorada uma medida preventiva correspondente à única solução de que atualmente os fornecedores dispõem.

No que se refere a medidas preventivas para minorar riscos associados ao uso de explosivos, concebeu-se uma metodologia assente num inquérito a um painel de especialistas da área. Optou-se pela realização do inquérito, dado ser um modo que permite alcançar um número razoável de técnicos com formação e experiência diversa que, assim, exporá opiniões provenientes de diversos quadrantes.

Pretendeu-se que a amostra de inquiridos fosse representativa e transversal em relação a experiência, natureza e amplitude da obra, de modo a obter a maior credibilidade de resultados possível. O inquérito foi realizado por correio eletrónico, no mês de setembro de 2017.

Os critérios para escolha de inquiridos foram: possuírem uma ligação à área das obras subterrâneas (quer na função de promoção, projeto, construção, fiscalização de obra, investigação ou docência, quer na vertente mais ligada à produção, quer na vertente mais ligada a áreas como a prevenção), e terem um mínimo de 5 anos de experiência em desmonte com explosivos.

Obtiveram-se 30 respostas válidas de técnicos com uma experiência muito diversa. As funções dos técnicos que responderam ao inquérito eram ligadas à prevenção (26,7%), à produção (53,3%), à docência/investigação (16,7%) e ao projeto (3,3%). Em termos de experiência, esta variava: entre de 2 a 5 anos (6,7%), de 6 a 15 anos (43,3%) e mais de 15 anos (50,0%), com uma média de 17,9 anos de experiência em obras subterrâneas. O inquérito consistia em questões diretas (Tabela 51) no que se refere à redução, ou não, dos riscos associados a utilização de determinados explosivos e acessórios.

Tab.52-Questões constantes no inquérito

Questões	Sim	Não
A utilização de emulsões diminui o risco de explosão extemporânea?		
A utilização de detonadores eletrónicos diminui o risco de explosão extemporânea?		
A utilização de emulsões minimiza o risco de inalação de gases perigosos provenientes de detonação?		

10.3. Detonação extemporânea/projeção de blocos

10.3.1. Utilização de emulsões

Na Figura 405 indica-se a opinião dos inquiridos quanto à pertinência da utilização de emulsões para redução de risco de explosão extemporânea.

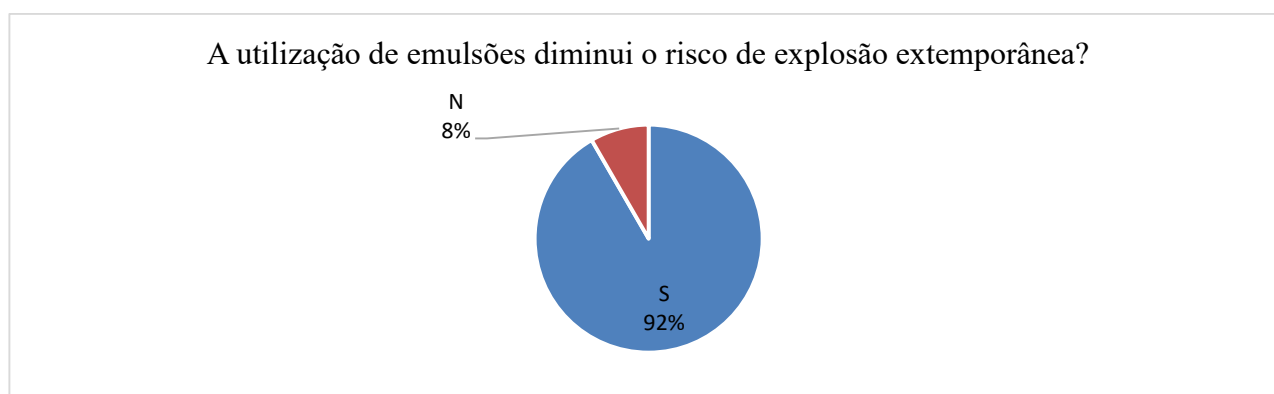


Fig.405-Resposta à 1ª pergunta do inquérito

Estes resultados confirmam os conteúdos já publicados, que identificam a tendência para se usarem as emulsões como produto explosivo de desmonte, em detrimento do ANFO [22]. Refira-se que diversos países utilizam-nas há décadas, p.e. Noruega, desde 1994, data da sua primeira utilização no túnel de Masfjord [293]. As emulsões podem assim ser caracterizadas como mais estáveis em transporte e manuseamento, tendo uma alta insensibilidade para ações mecânicas; logo, a utilização de emulsões revela-se, em termos de segurança e saúde, como a melhor escolha.

Em termos de aplicação, a emulsão pode ser bombeada diretamente para os furos, a granel e a partir de um veículo computadorizado, minimizando assim ainda mais os riscos associados ao transporte e manuseamento do explosivo. As duas componentes do explosivo são misturadas no furo automaticamente [8], a partir de uma unidade de carregamento, pneumática, destinada a emulsões previamente sensibilizadas. Esta evolução permite dotar o sistema de uma das vantagens do ANFO face à emulsão encartuchada: a maior fiabilidade de carregamento e menor risco de explosão extemporânea [358], dado o menor risco de encravamento nos furos (com o correspondente perigo de não detonação de explosivo devido à falta de contacto com cartuchos adjacentes) [9]. De realçar que a aplicação a granel permite também diminuir o risco de exposição a quedas de blocos da frente de escavação e maximiza a prevenção do desvio para fins ilícitos. Outro fator a favor deste tipo de carregamento é a velocidade de execução do trabalho [8]. No entanto, o explosivo a granel ainda não é passível de ser rastreado, tal como os restantes explosivos e acessórios.

10.3.2. Utilização de detonadores eletrónicos

Ao mesmo tempo, os detonadores, pela sua sensibilidade, também assumem especial importância.

Na Figura 406 indica-se a opinião dos inquiridos quanto à pertinência da utilização de detonadores eletrónicos para redução de risco de explosão extemporânea.

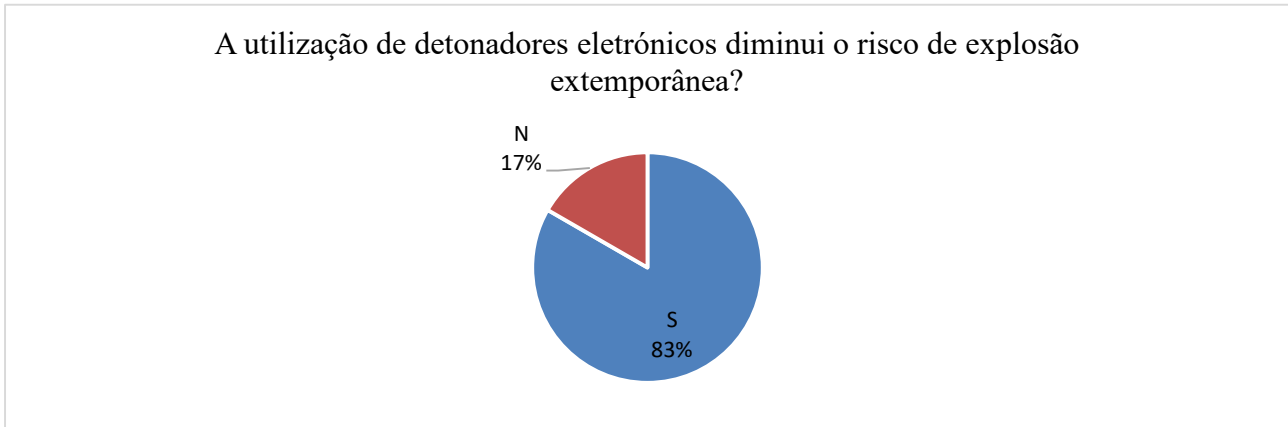


Fig.406-Resposta à 2ª pergunta do inquérito

Os resultados obtidos, embora sejam menos consensuais, reforçam o já afirmado por alguns especialistas da área.

As vantagens dos detonadores eletrónicos são efetivamente várias, a começar por questões ocupacionais, pela proteção que oferece o sistema eletrónico, pois só pode ser usado por quem possua um *logger* para programação do detonador e uma *blast box*. Adicionalmente, como já referido, os detonadores eletrónicos são insensíveis a correntes parasitas ou erráticas tendo uma maior fiabilidade de detonação e uma minimização de risco de detonação extemporânea. Em termos produtivos, a verificação da ligação é feita de forma automática, minimizando-se a probabilidade de erro humano. No entanto, a maior vantagem revela-se na melhor precisão de desmonte, com menores vibrações induzidas [359]. O seu uso é já recomendado na Norma Portuguesa 2074/2015 [360], por possuírem diferentes temporizações (limitação de número de atrasos por desmonte [361], com conseqüente maximização da energia disponível). Proporcionam ainda um desmonte mais regular e preciso, garantindo que não ocorrem sobreposições ou trocas de tempos de disparo entre furos consecutivos. Atendendo a isto, a sobrecavacção tem tendência para ser menor [361], minimizando os riscos para os trabalhadores [362] e diminuindo a necessidade de saneamento mecânico e manual. Acresce o potencial de otimizar a dimensão do escombros a carregar [363], dado minimizarem-se os blocos demasiado grandes ou um elevado conteúdo de finos, poupando na britagem do escombros [359]. Todos estes fatores conduzirão a uma melhoria de eficiência no ciclo de escavação [1]. Adicionalmente, os detonadores eletrónicos apresentam vantagens em termos de segurança pública, dado que o desvio de um acessório deste tipo não permite

facilmente a sua iniciação, pois são necessários equipamentos específicos, totalmente encriptados, para os fazer disparar.

Verifica-se que, embora a evolução esteja a ser lenta devido ao elevado custo, muitos utilizadores têm vindo a demonstrar que os benefícios de segurança e produtividade justificam plenamente o investimento realizado em detonadores electrónicos [364], defendidos em várias publicações como a melhor opção a utilizar, designadamente em túneis complexos [361].

O estado da arte, em termos de produtividade e segurança, encontra-se na utilização de detonadores ativados remotamente [364]. O processo consiste na utilização de comunicações rádio e permite a iniciação de cargas a partir da superfície. As vantagens deste sistema são: ausência de risco de exposição do operador de fogo (dado disparar a partir da superfície) e restantes trabalhadores que estejam no subterrâneo e menores tempos de paragem de operação. No entanto, deve-se salvaguardar que estes sistemas apenas têm o resultado previsto se forem acompanhados de um correto planeamento e processo de carga [364]. A utilização de repetidores pode aumentar as potencialidades deste tipo de iniciação, porque corresponde às necessidades derivadas do aumento de comprimento de túneis, permitindo ainda fazer vários disparos a partir do mesmo tempo, existindo assim um elevado impacto positivo em termos de rendimento de ciclo de escavação. Outra das evoluções possíveis está associada à integração do *Global Positioning System* (GPS) no processo de pega de fogo, opção que já é prática habitual em alguns países [364].

Assim, a utilização de detonadores eletrónicos revela-se, em termos de segurança e saúde, como a escolha mais adequada para a minimização de riscos.

No que se refere ao risco de projeção de blocos, cumpre apenas fazer uma pequena, mas importante observação, quanto à mão-de-obra usada para as tarefas. Relativamente ao manuseamento de explosivos e acessórios, verifica-se alguma disparidade de interpretação do nº3 do art.85º do Decreto-Lei 162/90, onde afirma que a manipulação e emprego de produtos explosivos só podem fazer-se por pessoal habilitado com cédula de operador. Isto implica que todos os que os manuseiam, desde o transporte até à preparação, possuam a referida cédula. Este entendimento, verificado pelo autor em diversas obras, não é unânime. Em alguns casos, leva a que a licença de operador de fogo seja apenas garantida para o supervisor da atividade. Dá-se, para exemplificar a situação, o exemplo do TdM. Tendo em consideração a legislação em vigor para o manuseamento e emprego de substâncias explosivas, bem como a falta de mão-de-obra especializada nesta temática, optou-se pela realização de ações de formação específicas, a 150 trabalhadores, com recurso a um formador interno, com a consequente realização de exame para a obtenção da cédula de operador de substâncias explosivas junto da Polícia de Segurança Pública (entidade certificadora), registando-se uma taxa de aprovação de 93%. Mais importante do que esta taxa, foi a verificação do cumprimento de boas práticas durante toda a obra.

10.4. Inalação de gases provenientes de detonação

Na Figura 407 indica-se a opinião dos inquiridos quanto à pertinência da utilização de emulsões para redução de risco de inalação de gases perigosos provenientes de detonação.

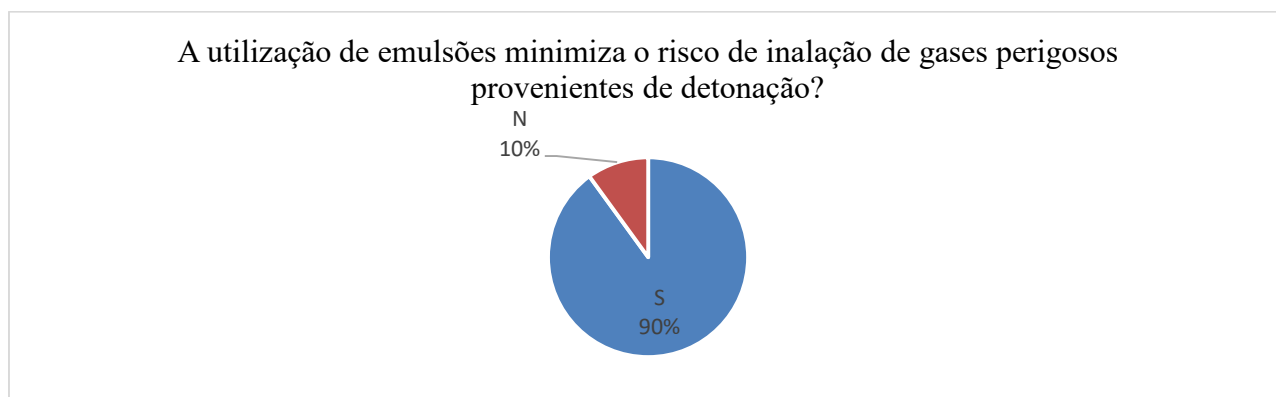


Fig.407-Resposta à 3ª pergunta do inquérito

Os resultados obtidos, consensuais, reforçam o já afirmado por alguns especialistas da área. Comparações anteriores realizadas entre as emulsões e o ANFO evidenciam que as emulsões conferem uma melhoria significativa do ambiente de trabalho, verificando-se que geram menos gases do que o ANFO [120], nomeadamente pelas concentrações reduzidas de dióxidos de carbono e azoto e pela poeira reduzida da explosão [293]. Os trabalhadores de túnel que usam ANFO como explosivo apresentam uma redução temporária da função pulmonar, enquanto aqueles que utilizam emulsão, não. A explicação mais provável para as mudanças observadas é a exposição de pico ao dióxido de nitrogénio [154].

O ANFO apresenta ainda a desvantagem de produzir maior volume de gases perigosos de amónia na presença de calor, humidade e betão projetado [131]. Este fenómeno ocorre aquando da presença de explosivos não detonados que entram em contacto com água de betão projetado que possua características alcalinas, podendo ser a explicação para o facto de os operadores de robô de betão estarem frequentemente muito expostos a amónia [123].

Assim, verifica-se como preferencial o uso de emulsões.

10.5. Riscos associados a exposição a ambientes pressurizados

Atendendo ao impacto que as operações de substituição de ferramentas de corte têm no rendimento do trabalho, as empresas estão a procurar alternativas para automatizar este processo [365]. Conforme já foi referido, a mudança de ferramentas de corte, designadamente os discos de corte (Figura 408), é crítica, entediada e perigosa, devido essencialmente aos riscos de exposição a ambiente pressurizado e também devido aos riscos musculoesqueléticos.



Fig.408–Substituição de discos [205]

Alguns dos fabricantes projetaram discos de corte acessíveis do interior, para permitir aos trabalhadores estar à pressão atmosférica quando realizam a substituição dos discos [365]. No entanto, esta solução tem desvantagens: aumenta o peso dos discos, tem impacto no posicionamento e número máximo de discos de corte, e aumenta os riscos de problemas musculoesqueléticos (os discos podem pesar dezenas de quilos cada). Assim, torna-se uma solução que não é eficiente nem tem boa relação custo/benefício [365].

A robotização da substituição de discos, que atualmente é vista como a melhor alternativa para minorar riscos, reduz em 80% a presença humana em ambiente hiperbárico, sem alterar a performance da tuneladora [366]. O robô, de funcionamento hidráulico, armazenado na parte superior da tuneladora, na qual existe uma porta na traseira para fornecimento dos discos de corte, é constituído por braço de operação para limpeza, visualização, aperto e desaperto de discos. Pela sua pertinência para se compreender como é o robô, expõe-se, na Figura 409, o esquema apresentado por um dos fabricantes para a estrutura do robô.

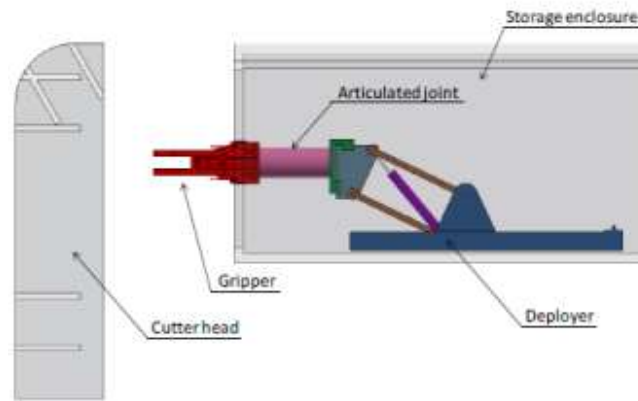


Fig.409–Robô para substituição de discos de corte [365]

O tipo de discos apenas carece de reformulação do atual *design*, dado o elevado número de peças que constituem os apoios do disco de corte e que podem ser perdidas durante a operação de substituição [365]. O grande desafio atual é o reduzido espaço existente para a operação deste tipo de robôs, bem como a pressão que pode ser suportada por estes [365].

10.6. Resposta à questão de investigação

Questão de investigação nº 21

“Quais as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos?”

Resposta à questão de investigação nº 21

As medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos são:

Detonação extemporânea/projeção de blocos – utilização de emulsões e detonadores eletrônicos

Inalação de gases provenientes de detonação de explosivos – utilização de emulsões

Ambiente pressurizado – robotização de intervenções em ferramentas de corte

11. CONCLUSÕES

11.1. Conclusões sobre o tema

Em termos técnico-científicos, e conjugando as respostas obtidas às perguntas de investigação, salientam-se algumas ideias-chave, resumindo os pensamentos exarados no livro, as quais poderão/deverão servir de orientação para futuros estudos, com vista à progressão técnico-científica:

1 - O processo de escolha de método de escavação subterrânea é delicado, levando em conta diversos critérios e devendo considerar sempre as particularidades de cada empreendimento. Entre os vários critérios a ponderar, encontra-se a “Segurança e Saúde”. O presente trabalho abordou este critério como fator de escolha, analisando-o de várias perspectivas. Para além de o posicionar hierarquicamente relativamente aos restantes critérios usados, verificando-se que é frequentemente subestimado em prol de questões do foro produtivo e financeiro, as várias vertentes analisadas possibilitaram a criação de conhecimento pertinente, que permitirá aos vários intervenientes no referido processo de escolha tomar decisões mais informadas na hora de escolher o método a usar.

A presente investigação dá a conhecer as implicações de selecionar um ou outro método, já que as particularidades dos mesmos, em termos de riscos, são bastante diferentes. A possibilidade de tomar uma decisão informada revela-se crucial, designadamente em termos de gestão de riscos – a qual, se inadequadamente realizada, pode ter como resultado um acidente de trabalho grave ou mortal, ou o surgimento de uma doença profissional.

2 - A análise realizada, a nível nacional, a registos de acidentes de trabalho já ocorridos e doenças profissionais surgidas permitiu tipificar cada um destes eventos, criando assim um novo conjunto de dados que podem vir a ser úteis para análises de risco futuras. Verificou-se que o acidente de trabalho de ocorrência mais frequente envolve condutores/manobradores com idade média de 40,5 anos; ocorre entre as 17h e as 8h; na zona cofragem/betonagem; durante trabalho com ferramentas manuais; deriva de problemas associados a movimentos do corpo; é provocado por componentes de máquinas, resíduos ou betão que entram em contacto direto com o corpo humano; provoca feridas ou lesões superficiais nos braços, mãos, pernas ou pés; e origina uma média de 60,8 dias perdidos. No tocante a doença profissional com surgimento mais provável, verificou-se que esta envolve trabalhadores da frente de escavação, com idade entre 50 e 59, anos sendo o diagnóstico relacionado com problemas respiratórios.

3 - O painel de especialistas inquiridos, utilizando o método de William Fine (para uma avaliação comparativa e semi-quantitativa de riscos) e uma abordagem qualitativa (para uma análise da perceção sobre a propensão para a ocorrência de fatores ocupacionais), apresentou características de estabilidade (fiabilidade intra-analista) e reprodutibilidade (fiabilidade inter-analista) que o autor considera suficientes para o efeito. Em termos de fiabilidade intra-analista, o avaliador tomava conhecimento dos resultados imediatamente após o final do

inquérito, verificando se os resultados obtidos se encontravam de acordo com a sua opinião quanto ao método que apresenta maior nível de risco ou propensão para fator ocupacional. No caso de os resultados globais contradizerem a sua percepção quanto ao método que tem maiores níveis de risco ou propensão para ocorrência do fator ocupacional, o inquirido tinha a oportunidade de alterar as suas respostas parciais. Uma vez que o inquérito foi presencial, foi possível ao autor do presente trabalho verificar que tal não ocorreu: ou seja, não houve situações em que o inquirido tenha optado por alterar as suas respostas parciais após a conclusão do inquérito. Quanto à fiabilidade inter-analista, verificou-se que os resultados dos diversos avaliadores foram semelhantes, representando uma tendência de indicação de determinado método como o que maior nível de riscos e propensão para fatores ocupacionais acarreta.

4 - O inquérito conduzido produziu os seguintes resultados de opinião dos inquiridos:

- a) Os maiores riscos presentes neste tipo de obra são a queda de blocos, o atropelamento, a queda de pessoa ao mesmo nível ou em altura, o colapso de estruturas e o capotamento de equipamentos, sendo os três primeiros riscos os mais elevados nos dois métodos;
- b) Em termos de fatores ocupacionais, o ruído e o stresse destacam-se, sendo o primeiro o principal fator ocupacional no MEC, e o segundo, o principal fator ocupacional no MET;
- c) O MEC apresenta níveis de risco e propensão para o surgimento de fatores ocupacionais superiores ao MET na maior parte dos casos, exceto no caso de BIOL (que foi considerado como tendo nível de risco igual em ambos), sendo que estas diferenças decorrem das grandes diferenças entre os métodos, designadamente em termos de automatização, mão-de-obra envolvida e ambiente ocupacional criado. Assim, o MEC apenas deverá ser escolhido desde que se cumpra um determinado número de pressupostos, já que o nível de risco presente neste método se prende muito diretamente com algumas das suas características intrínsecas, que convém controlar em prol da segurança e saúde. Para tal, é necessário: minimizar o número de trabalhadores envolvidos nas tarefas, automatizar as tarefas, criar zonas de riscos (onde os trabalhadores não possam circular), e minimizar o número de tarefas manuais a realizar;
- d) Em ambos os métodos, a 1ª fase de trabalhos, relacionada com a escavação e remoção de escombros, é a que, em termos globais, apresenta um maior nível de riscos e fatores ocupacionais, associados, nesta fase, à queda de blocos, a atropelamentos e a ruído. Para alguns dos riscos, porém, a primeira fase não é a que apresenta maior nível de risco. No MEC, a fase com maior nível de risco para os riscos de contacto com produtos químicos, queda ao mesmo nível/em altura e problemas musculoesqueléticos é a 3ª fase. No MET, a fase com maior nível de risco para os riscos de inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado, contacto com produtos químicos, rutura de equipamentos ou acessórios e queda de blocos/torrões de betão projetado é a 2ª, enquanto para os riscos de queda ao mesmo nível/em altura e problemas musculoesqueléticos é a 3ª. A 2ª fase de trabalhos corresponde à montagem de soluções de estabilização e tem como maiores riscos a queda

de blocos (ligada à potencial instabilidade da zona a tratar), o atropelamento e a queda ao mesmo nível ou em altura, para ambos os métodos. Em termos de fatores ocupacionais, o ruído e o stresse salientam-se como preponderantes na 2ª fase, respetivamente no MEC e no MET. Já a 3ª fase difere das duas anteriores, salientando-se notoriamente o risco de queda ao mesmo nível ou em altura e o stresse como principais fatores ocupacionais.

e) A introdução de cenários alternativos ao inicialmente estipulado aumenta a gravidade de diversos riscos, chegando a um ponto em que a sua influência no risco é não-tolerável. O cenário que mais agravou vários dos riscos presentes em obra foi, na globalidade, aquele em que se considera a execução simultânea de remoção de escombros e aplicação de revestimento definitivo, designadamente devido ao facto de as atividades na frente de escavação interferirem com potenciais atividades a decorrer longe da mesma, pela circulação de equipamentos de remoção de escombros e pela chegada de poeiras a zonas afastadas da frente. A execução simultânea destas tarefas deve, por isso, ser evitada. Para tal, é necessário que o planeamento do empreendimento o evite, nomeadamente através de uma grande intervenção da Coordenação de Segurança em fase de Projeto. O segundo cenário mais gravoso, aquele que previa um maciço em condições fragilizadas, também revelou o potencial de agravar diversos riscos, nomeadamente o de queda de blocos isolados e os relacionados com potenciais danos que as mesmas possam causar na rede elétrica. O cenário que estipulava a utilização de explosivos revelou agravar os riscos de queda de blocos, pela fragilização provocada pelas vibrações transmitidas entre a zona a desmontar e o restante maciço. No entanto, nem todos os cenários cumprem a tendência global, evidenciando que cada risco tem características muito *sui generis*. No MEC, o cenário 1 é o mais grave a influenciar os riscos de eletrização/eletrocussão, queda de blocos/torrões de betão projetado e contacto com agentes biológicos, enquanto o cenário 3 é o mais grave a influenciar a exposição a produtos químicos, inalação de fumos provenientes de incêndio e inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado. Nestes dois riscos, o cenário 2 tem um nível de influência equivalente ao do cenário 3. No caso do MET, o cenário 1 é o que tem um nível de influência mais relevante na eletrização/eletrocussão, queda de blocos/torrões de betão projetado e contacto com agentes biológicos.

f) Nas condições estipuladas, há um conjunto de riscos e fatores ocupacionais com um nível de risco e uma propensão que atingem valores não toleráveis. São eles: queda de blocos/torrões de betão projetado, atropelamento, queda ao mesmo nível/em altura, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos, rutura de equipamentos ou acessórios, eletrização/eletrocussão, inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado, inalação de gases provenientes de motores diesel, inalação de fumos provenientes de incêndio, exposição a ruído, vibrações e stresse. Deverá ser dada total prioridade ao tratamento destes riscos e fatores ocupacionais, de modo a trazê-los para um patamar tolerável;

g) Para minimizar os riscos e fatores ocupacionais valorados como não toleráveis, devem ser implementadas medidas preventivas, pelo que foi apresentado um conjunto de medidas, consideradas pelo autor como as mais atuais e com efeito já comprovado. Após a aferição da pertinência de implementação de cada medida, salientam-se as seguintes como as mais relevantes, e que primeiramente deverão ser ponderadas, em termos de produção de impacto positivo na segurança e saúde, mas também nos rendimentos de trabalho: a) introdução da figura da pessoa competente designada para intervenções em rede elétrica; b) utilização de combustíveis de locomoção alternativos; c) existência de barreiras de água ao longo do túnel; h) instalação de equipamento para purificação de ar; e) aplicação de proteção adicional a tubagens; f) criação de zonas de exclusão; g) utilização de plataformas suspensas; h) utilização de equipamentos *Bluetooth* para comunicação; e i) betonagem de soleira de pavimento.

5 – A utilização de explosivos induz uma série de riscos acrescidos. O painel de inquiridos, no âmbito do processo de aferição da pertinência das medidas preventivas propostas para minimização dos riscos, conduziu às seguintes conclusões:

- A utilização de emulsões, sendo mais estáveis no transporte, manuseamento e armazenamento do que outros explosivos, é essencial para minimizar os riscos de detonação extemporânea. Por sua vez, a opção pelos detonadores eletrónicos, pela sua insensibilidade e segurança intrínseca, revela-se também fulcral para minimizar o referido risco. Adicionalmente, salienta-se que a projeção de blocos/invasão de zona de segurança pode, por sua vez, ver o seu risco minimizado, desde que todo o manuseamento de explosivos e acessórios seja realizado por trabalhadores habilitados com cédula de operador de fogo.

- No que se refere ao risco de inalação de gases provenientes de detonação de explosivos, a escolha de emulsões minimiza o risco, designadamente pela conceção do produto.

6 - Os riscos associados à realização de trabalhos em ambiente pressurizado, opção a que se recorre cada vez mais para escavações em maciços mais fragilizados, podem ser minorados através da robotização da tarefa de mudança de ferramentas de corte. Para além de diminuir os ciclos de compressão/descompressão a que os trabalhadores estão sujeitos, a robotização tem também impacto em termos musculoesqueléticos.

7 - Um dos objetivos desta investigação também era aferir quais os princípios comuns a garantir independentemente do método de escavação a utilizar. Assim, ficam as seguintes ideias:

a) A fronteira entre as questões de segurança estrutural e de segurança ocupacional não é clara e obriga a um trabalho conjunto, mas com responsabilidades bem delimitadas, entre todos os intervenientes, designadamente os ligados a cada uma das áreas;

b) A figura do Dono de Obra revela-se como fulcral para o sucesso de todo o processo de gestão de riscos do empreendimento, uma vez que estipulará o nível de segurança a almejar e os requisitos mínimos a atingir. Adicionalmente, o DO tem a função de transmitir o legado da obra, que servirá para

que futuros empreendimentos aprendam com os erros de quem anteriormente realizou um trabalho similar. Salienta-se, para memória futura, o legado com que o *Crossrail* contribuiu para este tema;

c) A integração da prevenção em fase de projeto revela-se um pressuposto crucial para se minimizarem os riscos presentes na fase de obra. A mudança de paradigma por parte dos projetistas, e a integração da prevenção em fase de projeto, é essencial para que o risco não seja apenas combatido em fase de obra;

d) Uma liderança coesa, com integração da segurança como parte do processo construtivo e integrada na temática da prevenção, permite minimizar problemas derivados do dilema segurança/produção;

e) Deverá ser maximizada a possibilidade de integração dos trabalhadores na prevenção, valorizando a segurança comportamental em prol da técnica, fazendo uma abordagem o mais individual possível, tendo em conta as características de cada um, maximizando o seu grau de colaboração e, assim, potenciando a sua motivação e abertura para novas ideias e regras;

f) A competência dos trabalhadores, designadamente a adquirida através de experiências anteriores em empreendimentos similares, nomeadamente os fulcrais (como as instalações elétricas, por exemplo), permite minimizar a probabilidade de ocorrência de atos inseguros;

g) Um bom plano de formação de acolhimento e sensibilização dos trabalhadores revela-se decisivo para influenciar atitudes individuais e mudar comportamentos. Significa isto que se deve apostar numa prevenção do foro comportamental e não apenas de foro técnico, privilegiando meios de formação como os tutoriais ou virtuais.

h) A existência de condições e atitudes que potenciem o bem-estar e a saúde do trabalhador (nomeadamente, os mais idosos e sujeitos a doenças profissionais), colocando a prevenção de doenças profissionais no mesmo patamar que a de acidentes de trabalho, é essencial. Uma postura de carácter construtivo e não punitivo, minimizando os riscos de cariz psicológico, permitirá o aumento do rendimento do trabalhador, ao mesmo tempo que este se sente mais confortável, física e psicologicamente;

i) Os horários de trabalho, e respetivos períodos de descanso, deverão ser criteriosamente escolhidos e geridos, de modo a minimizar os impactos do regime de turnos sobre o regime de sono. Além disso, deve ter-se especial atenção ao período suplementar e noturno, visto os dados revelarem que é aquele em que ocorrem mais acidentes de trabalho, designadamente por cansaço do trabalhador e menor supervisão da obra. Saliente-se, relativamente aos acidentes de trabalho, o elevado número de dias de baixa que geralmente provocam neste tipo de obra;

j) Deverão ser tomadas as medidas preventivas necessárias para minimizar a exposição a agentes físicos e químicos que potenciem problemas respiratórios, a maior causa de doenças profissionais neste tipo de obras;

- k) A configuração do túnel deve ser estudada, de modo a maximizar os espaços para instalações de apoio à frente de obra (instalações sanitárias, pontos de água potável, etc.), câmaras de refúgio e abrigos de ruído e/ou de temperatura. Também se deve ter atenção à manutenção dos acessos em bom estado, de modo a aumentar os rendimentos de remoção de escombros da frente de obra ao mesmo tempo que se minimizam as vibrações e problemas associados às mesmas;
- l) A escolha das máquinas e equipamentos mais adequados e recentes (preferencialmente alimentados com combustíveis biológicos ou a eletricidade, e com baixa produção de ruído), aos quais se faz uma manutenção adequada, revela-se como ponto de partida para controlar os riscos com eles relacionados, logo na sua origem;
- m) Um sistema de ventilação bem dimensionado (com respetivos acessórios para depuração de ar), devidamente adaptado a cada fase de obra e mantido, é o primeiro passo para um correto controlo da qualidade da atmosfera interior, quer em termos de temperatura e humidade, quer em termos de contaminantes físicos e químicos. Saliente-se novamente que os problemas respiratórios constituem a principal causa de doenças profissionais neste tipo de obra, atingindo principalmente os trabalhadores da frente de escavação;
- n) Os intervenientes em obras subterrâneas deverão estar mentalizados para o facto de poderem ocorrer emergências que implicam a chamada de entidades de socorro externas à obra. Portanto, é fundamental definir e testar antecipadamente o contacto com estas e as respetivas ações de socorro e resgate, a implementar em cada potencial situação;
- o) O bom tratamento e manutenção das infraestruturas de apoio a frentes de trabalho (elétricas, hidráulicas, etc.) minimizam a ocorrência de danos e garantem que os trabalhos não são interrompidos por falta de água ou de eletricidade, por exemplo;
- p) O BIM revela-se como instrumento de elevado potencial para, permitindo a modelação a 3D e parametrização de elementos, melhorar a visualização dos instrumentos gráficos usados para o planeamento da segurança. O conceito *BIMSafety* encontra-se em fase inicial de implementação, verificando-se que revela um potencial bastante relevante no apoio a planeamento de segurança, em termos de projeto, gestão de estaleiro, formação, gestão de proteções coletivas e movimentação de cargas e planeamento de emergência. Deverá assim ser privilegiada a investigação relativa a utilização de BIM para efeitos de carácter preventivo, quer na vertente de criação de um documento normativo, quer na implementação em casos reais, quer na exploração das diversas áreas da prevenção em que o BIM tem potencial para reduzir os riscos;
- q) Deverá ser privilegiada a atenção aos equipamentos de proteção individual que protejam contra ferimentos e lesões superficiais, tipo de lesão mais prevalente neste tipo de obras.

Na Tabela 54, e de modo a sintetizar a investigação, expõe-se os objetivos estabelecidos aquando do início desta, as questões de investigação colocadas e aos respetivos resultados obtidos.

Tab.53-Objetivos traçados, questões de investigação estabelecidas e resultados obtidos

Objetivos traçados	Questões de investigação estabelecidas	Resultados obtidos
Identificar os principais riscos e fatores ocupacionais associados à construção de obras subterrâneas;	Q1 - Quais os principais riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, presentes na construção de obras subterrâneas?	Riscos: Eletrização/eletrocussão; detonação extemporânea/projeção de blocos; inalação de gases provenientes de equipamentos a gásóleo; inalação de gases provenientes de incêndio; inalação de gases provenientes de gases de detonação de explosivos; inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado, contacto com produtos químicos; rutura de equipamentos ou acessórios, queda de blocos/torrões de betão projetado, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos; queda ao mesmo nível/em altura; problemas musculoesqueléticos; atropelamento, contacto com agentes biológicos. Fatores ocupacionais: ruído, vibrações, temperaturas extremas/radiações, ambiente pressurizado e stresse.
Aferir o posicionamento do critério "Segurança e Saúde" no processo de escolha do método a utilizar;	Q2 - Qual o posicionamento do critério "Segurança e Saúde" perante os restantes critérios considerados, no processo de decisão de escolha do método de escavação?	Existem diferenças bem marcadas relativamente à influência dos critérios em cada um dos métodos. O critério "Segurança e Saúde", posicionando-se em terceiro lugar hierárquico, é geralmente subestimado em relação aos critérios relacionados com qualidade de maciço a escavar bem como as respetivas características geométricas. As questões relacionadas com as características do terreno a atravessar apresentam uma maior importância relativamente aos restantes critérios, facto que poderá ser explicado pelo seu impacto noutros assuntos, tais como a velocidade de escavação e custos associados.
Caracterizar e comparar, em quantidade e tipo, os acidentes de trabalho e doenças profissionais registados em Portugal em obras subterrâneas;	Q3 - Qual o tipo de AT e DP típico (ou seja, o de ocorrência mais frequente ou de surgimento mais provável) que corresponde ao AT e DP mais frequentes em obras subterrâneas?	O acidente de trabalho de ocorrência mais frequente envolve condutores/manobreadores com idade média de 40,5 anos; ocorre entre as 17h e as 8h; na zona cofragem/betonagem; durante trabalho com ferramentas manuais; deriva de problemas associados a movimentos do corpo; é provocados por componentes de máquinas, resíduos ou betão que entram em contacto direto com corpo humano; provoca feridas ou lesões superficiais nos braços, mãos, pernas ou pés; e origina uma media de 60,8 dias perdidos. A doença profissional com surgimento mais provável envolve trabalhadores da frente de escavação, com idade entre 50 e 59 anos sendo o diagnóstico relacionado com problemas respiratórios.
Identificar os princípios comuns aos dois métodos;	Q4 - Quais os requisitos que devem ser garantidos, independentemente do método escolhido?	Lista-se, em forma de tópicos, os requisitos: O Dono de Obra como facilitador da prevenção; como pivot, fio condutor, decisor e estipulador de nível de tolerância; a transmissão de legado como meio de não repetir erros; a integração de prevenção em fases precoces de projeto; o projetista como facilitador da prevenção; a liderança com integrador da segurança na produção; a aproximação entre líderes e trabalhadores como meio de quebrar barreiras de comunicação; uma comunicação aberta e colaborativa como meio de discutir soluções; a segurança comportamental como meio de influenciar atitudes; o estudo de quase acidentes para prevenção de acidentes de trabalho; competência suficiente e experiência prévia em obras similares; formação adequada aproveitando novas tecnologias de informação; o bem estar do trabalhador começa acima do solo; a gestão da saúde no mesmo patamar que a gestão da segurança; infraestruturas adequadas e alteráveis consoante evoluir dos trabalhos; planeamento de eventos de emergência, interna e externamente; o BIM como impulsionador de uma mudança de paradigma na prevenção.
	Q5 - Quais os riscos com nível mais elevado em obras subterrâneas?	Queda de blocos/torrões de betão projetado (que se destaca notoriamente), atropelamento, queda ao mesmo nível/em altura; colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos e rutura de equipamentos ou acessórios.
	Q6 - Qual dos métodos de escavação apresenta níveis de risco mais elevados?	O método de escavação que apresenta níveis de risco mais elevados (bastante mais elevados, na ordem dos 77%) é o MEC.
Realizar uma comparação de riscos e fatores ocupacionais, em termos de segurança e saúde, entre os dois métodos;	Q7 - Quais os riscos com nível mais elevado em cada método de escavação?	MEC - Queda de blocos/torrões de betão projetado, atropelamento, queda ao mesmo nível/em altura, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos, rutura; MET - Queda de blocos/torrões de betão projetado, atropelamento, queda ao mesmo nível/em altura, inalação de gases provenientes de incêndio, rutura de equipamentos ou acessórios.
	Q8 - Qual das fases de trabalho apresenta níveis de risco mais elevados?	As fases de trabalho que apresentam níveis de risco mais elevados são similares nos dois métodos, a saber: a fase de nível de risco mais elevado é a 1ª, seguida da 2ª, a que se segue a 3ª.
Identificar as medidas preventivas mais atuais para cada risco e fator ocupacional e avaliar a sua pertinência;	Q9 - Quais os riscos mais elevados, em cada uma das fases de trabalho, para cada um dos métodos?	MEC - 1ª e 2ª fases – Queda de blocos/torrões de betão projetado, atropelamento, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos. 3ª fase - Queda ao mesmo nível/em altura, atropelamento, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos; MET - 1ª fase – Queda de blocos/torrões de betão projetado e atropelamento (<i>ex-aequo</i>), inalação de gases provenientes de incêndio. 2ª fase - Queda de blocos/torrões de betão projetado, queda ao mesmo nível/em altura, rutura de equipamentos ou acessórios. 3ª fase - Queda ao mesmo nível/em altura, atropelamento, rutura de equipamentos ou acessórios.
	Q10 - Quais os riscos que apresentam, em cada método e para cada uma das fases, níveis não toleráveis?	MEC - 1ª fase- Eletrização/eletrocussão, inalação de gases provenientes de equipamentos a gásóleo, inalação de gases provenientes de incêndio, inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado, rutura de equipamentos ou acessórios, queda de blocos/torrões de betão projetado, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos, queda ao mesmo nível/em altura, atropelamento; 2ª fase – rutura de equipamentos ou acessórios, queda de blocos/torrões de betão projetado, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos, queda ao mesmo nível/em altura, atropelamento; 3ª fase - eletrização/eletrocussão, colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos, queda ao mesmo nível/em altura, atropelamento; MET - 1ª fase - inalação de gases provenientes de incêndio, queda de blocos/torrões de betão projetado, atropelamento; 2ª fase - queda de blocos/torrões de betão projetado; 3ª fase - queda ao mesmo nível/em altura.
	Q11 - Qual a influência global que cada um dos três cenários descritos tem em cada método de escavação?	A influência global que cada um dos três cenários acima descritos tem em cada método de escavação pode ser resumida deste modo: o cenário 2 é o cenário que produz, quer no MEC (Ir=1,2) quer no MET (Ir=1,0), um maior agravamento de riscos. O segundo cenário que mais agrava os riscos é o cenário 3, no caso do MEC (Ir=0,9), e o cenário 1, no caso do MET (Ir=0,7). Em terceiro lugar aparece, no MEC, o cenário 1 (Ir=0,8) e, no MET, o cenário 3 (Ir=0,0).
Realizar uma comparação de riscos e fatores ocupacionais, em termos de	Q12 - Qual a influência dos diversos cenários em cada risco, em cada um dos métodos?	a) MEC - 1ºcenário - Queda de blocos/torrões de betão projetado (Ir=1,7), eletrização/eletrocussão (Ir=1,7), colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos (Ir=1,2); 2ºcenário - Atropelamento (Ir=1,7), inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado (Ir=1,5), inalação de gases provenientes de equipamentos a gásóleo (Ir=1,4), eletrização/eletrocussão (Ir=1,4), colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos (Ir=1,4), QUED (Ir=1,4); 3ºcenário - Queda de blocos/torrões de betão projetado (Ir=1,5), inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado (Ir=1,5), contacto com produtos químicos (Ir=1,2).

segurança e saúde, entre os dois métodos;		MET - 1ºcenário - Queda de blocos/torrões de betão projetado (Ir=1,4), eletrização/eletrocussão (Ir=1,3), colapso de estruturas ou capotamento de equipamentos (Ir=1,0); 2ºcenário - Atropelamento (Ir=1,4), inalação de gases provenientes de equipamentos a gásóleo (Ir=1,2), eletrização/eletrocussão (Ir=1,1); 3ºcenário - Não aplicável.
Identificar as medidas preventivas mais atuais para cada risco e fator ocupacional e avaliar a sua pertinência;	Q13 - Quais os riscos em que cada cenário apresenta um nível de influência não tolerável?	MEC - C1: Eletrização/eletrocussão, queda de blocos/torrões de betão projetado; C2: inalação de poeiras provenientes de maciço rochoso/betão projetado, atropelamento; C3: inalação de poeiras MET - C1: nenhum; C2: nenhum; C3: nenhum
	Q14 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão a ocorrer em obras subterrâneas?	Os fatores ocupacionais com maior propensão para ocorrer em obras subterrâneas são, por ordem decrescente: ruído, stresse, vibrações e temperaturas extremas/radiações.
	Q15 - Qual dos métodos de escavação subterrânea apresenta maior tendência para existência de condições propícias ao surgimento dos fatores ocupacionais identificados?	O método de escavação que apresenta níveis de propensão de fatores ocupacionais mais elevados (na ordem dos 22%) é o MEC.
	Q16 - Quais os fatores ocupacionais com maior propensão para ocorrerem em cada método de escavação?	MEC: ruído e vibrações; MET: stresse e ruído.
	Q17 - Qual das fases de trabalho tem maiores níveis de propensão de fatores ocupacionais, em cada um dos métodos?	As fases de trabalho que têm maiores níveis de propensão de risco, em cada um dos métodos, são a 1ª fase, seguida da 2ª fase e, por último, a 3ª fase, algo que se verifica nos dois métodos.
	Q18 - Quais os fatores ocupacionais mais propensos, por método e por fase de trabalho?	MEC: 1ª fase - ruído, 2ª fase - ruído, stresse, 3ª fase - stresse, vibrações; MET: 1ª fase - ruído, temperaturas extremas/radiações; 2ª fase - stresse, ruído; 3ª fase - stresse, temperaturas extremas/radiações.
	Q19 - Quais os fatores ocupacionais que apresentam, em cada método e para cada uma das fases, níveis não toleráveis?	MEC: 1ª FASE - ruído, vibrações, stresse; MET: 1ª FASE - ruído.
	Q20 - Quais as medidas preventivas estado da arte que apresentam um nível de pertinência de implementação bastante relevante?	Pessoa competente designada para intervenções em rede elétrica; combustíveis de locomoção alternativos; barreiras de água ao longo do túnel; equipamento para purificação de ar (<i>deduster</i>); proteção adicional a tubagens; zonas de exclusão; utilização de plataformas suspensas; equipamentos <i>Bluetooth</i> ; betonagem de soleira de pavimentos
Caracterizar as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos de cada um dos métodos;	Q21 - Quais as medidas preventivas mais atuais para os riscos e fatores ocupacionais específicos a cada um dos métodos?	Detonação extemporânea/projeção de blocos - utilização de emulsões e detonadores eletrônicos; inalação de gases provenientes de detonação de explosivos - utilização de emulsões; ambiente pressurizado - robotização de intervenções em ferramentas de corte.

11.2. Limitações do estudo

Embora considerando que, no seu conjunto, a investigação apresenta pontos fortes muito relevantes, é dever de qualquer investigador procurar olhar para o seu estudo da forma o mais objetiva possível, procurando dissecar as suas potenciais limitações. De facto, identificar os pontos fracos do seu estudo e analisar o mais imparcialmente possível os potenciais impactos que possam ter nas conclusões dele retiradas, faz parte do serviço que os autores devem prestar aos seus leitores [26].

Assim, o autor gostaria de dar nota de algumas limitações que a investigação apresenta:

- O tema estudado é extremamente vasto, sendo que cada um dos assuntos abordados (por ex., a integração da prevenção em fase de projeto ou a utilização de novas tecnologias para a prevenção) daria, por si só, um livro. Assim, a discussão de determinados subtemas foi menos aprofundada, mas abarcou os tópicos essenciais para descrever a importância de cada um para o tema geral;
- A amostra de inquiridos para o inquérito desenvolvido para aferição do posicionamento do critério “Segurança e Saúde” poderia ser de maior dimensão, para imputar maior fiabilidade ao processo de análise;
- A análise realizada a AT/DP foi limitada ao panorama nacional, devido à impossibilidade de obtenção de dados a nível internacional; esta análise estaria também mais completa se a ACT tivesse disponibilizado os dados solicitados;
- Os AT analisados correspondem apenas àqueles identificados como tendo dias de baixa, ficando assim os AT sem baixa por analisar;
- A dimensão da amostra dos inquiridos na avaliação de riscos e propensão para fatores ocupacionais limitou-se a uma abordagem (limitada ao painel de inquiridos) no país do autor, o que significa que há a possibilidade de se obterem diferenças ao nível dos resultados se o estudo for realizado a nível internacional.
- Não foi realizada uma análise de perigos combinados, dado esta implicar um relevante avolumar de informação que poderia ter uma utilidade futura bastante limitada.

11.3. Implicações práticas

Com a realização desta investigação, foi atualizado o *state-of-the-art* deste tema, sendo que algumas contribuições bem palpáveis, e de potencial utilização no futuro, podem ser retiradas:

- Foi colmatada a lacuna científica identificada quanto à falta de tipificações de acidentes de trabalho e doenças profissionais em obras subterrâneas. Os dados obtidos são agora uma fonte de informação disponível para quem pretenda utilizar informações sobre a ocorrência de acidentes de trabalho ou o surgimento de doenças profissionais para aperfeiçoamento da análise de riscos;
- Foi possível perceber que o critério “Segurança e Saúde”, tendo em conta que afeta muito diretamente as vidas e a saúde dos trabalhadores, deveria ser mais valorizado do que é, nomeadamente face aos restantes critérios de escolha de método de escavação;
- Foi colmatada a lacuna técnico-científica identificada por Fulcher e pelos *Working Groups* 14 e 19 da International Tunnelling Association. Adicionalmente, dá-se seguimento às conclusões previstas nas Dissertações de Tender e de Teixeira, bem como ao artigo de Aneziris. O presente estudo cria, assim, uma sustentação científica, inexistente até agora, para algumas das afirmações que advinham da experiência individual, pontual e dispersa de alguns técnicos;
- Foi verificada a adequabilidade de ferramentas de gestão de riscos;
- Foi identificado um conjunto de riscos e fatores ocupacionais não toleráveis;
- Foi analisado o impacto de cenários alternativos no elevar dos níveis de risco;
- Foi descrito um número relevante de medidas preventivas, com o potencial de virem a ser utilizadas pelas empresas interessadas na procura de novas soluções.

Pela relevância e abrangência dos resultados obtidos com este estudo, a presente investigação tem um grande potencial de utilidade para vários dos intervenientes e interessados em obras subterrâneas, por um ou outro motivo.

Para a Comunidade científica (investigadores, docentes e alunos), pois suprime diversas lacunas que existiam e estavam devidamente identificadas e, assim, possibilita o avanço do conhecimento científico.

Para a ITA, porque dá resposta à questão levantada no já referido relatório dos WG14 e 19 e cria assim um meio que fortalece a possibilidade de sensibilização da comunidade técnica para estes temas. Adicionalmente, abre caminho para a realização de uma recomendação técnico-científica no que se refere aos níveis de segurança e saúde associados a cada um dos métodos.

Para os Donos de obra, pois permite conhecer o impacto, quanto ao critério “Segurança e Saúde”, na escolha do método, ajudando-os a estabelecer prioridades e critérios mínimos para introduzirem em programas de concurso e cadernos de encargos para as suas obras subterrâneas.

Para os Empreiteiros, Coordenadores de segurança em fase de Projeto e Obra e Consultores, porque:

- apresenta um histórico de AT/DP que pode melhorar a gestão de riscos e novos instrumentos de gestão de riscos e opções preventivas;

- cria uma base de dados que pode facilitar o processo de gestão de riscos em fase de projeto e a sua posterior validação técnica em fase de obra, e porque expõe as áreas onde o processo de inspeções e de auditorias se deve focar.

Para os Projetistas, porque dá a conhecer os pontos fracos de algumas opções de projeto, devido aos quais podem vir a ocorrer situações de risco em fase de obra.

Para os Fornecedores, pois reforça o conhecimento sobre os pontos fracos dos seus equipamentos, ou sobre necessidades sentidas no trabalho diário em obra, potenciando a evolução dos equipamentos, através da procura de soluções para os problemas/necessidades de obra encontrados.

11.4. Santa Bárbara

Santa Bárbara foi, segundo a Tradição católica, uma jovem nascida na cidade de Nicomédia, nos fins do século III [368]. O seu pai era um rico nobre, chamado Dióscoro. Sendo filha única e bela, e tendo Dióscoro receio de a deixar no meio da sociedade corrupta daquele tempo, Dióscoro toma a decisão de a fechar numa torre. Este é um dos motivos para a Santa Barbara se encontrar frequentemente associada à figura de uma Torre [368] (Figura 410).



Fig.410-Estátua datada de 1379 [368]

Por ser muito bela e, acima de tudo, rica, não lhe faltavam pretendentes para casamentos, tendo Bárbara recusado todos. Dióscoro convenciona-se que as “desfeitas” da filha se justificavam pelo facto de ter ficado trancada muitos anos na torre. Assim, ele autoriza-a a ir conhecer a cidade. Ela vai tendo contacto com cristãos, que lhe falam sobre Jesus e o mistério da união da Santíssima Trindade, corrente que emergia na altura e que Dióscoro considerava perigosa e prejudicial para o seu estatuto. Pouco tempo depois, é batizada. A determinada altura, Dióscoro constrói, nas instalações de Bárbara, uma casa de banho com duas janelas para Bárbara [368]. Na altura em que esteve aprisionada na torre, ela teria alegadamente recebido, através de uma corda e no cesto onde habitualmente recebia a comida e roupa, um livro sobre esta nova religião. Uns dias mais tarde, ele inicia uma longa viagem. Na sua ausência, Barbara providencia a construção de uma terceira janela na torre, visto que a casa de banho ficara na torre. Além disso, ela esculpira uma cruz sobre a fonte, representando a Santíssima Trindade [368]. Ao regressar, e vendo as três janelas, Dióscoro, questiona Barbara, tendo-lhe ela explicado que isso era o símbolo da sua nova Fé. Dióscoro, enfurecido, pois ela recusava-se a seguir a Religião da Roma Antiga e, obedecendo a suas tradições romanas, denuncia-a ao prefeito que a mandou torturar, numa tentativa de a fazer renunciar à sua fé, o que não aconteceu. No dia 04 de dezembro do ano de 267, Bárbara foi conduzida para fora da cidade, onde o seu próprio pai a executou, decapitando-a [368]. Quando a cabeça de Bárbara rolou pelo chão, um imenso trovão soou pelos ares, fazendo tremer os céus. Um relâmpago flamejou pelos ares e, atravessando o céu, fez cair por terra o corpo sem vida de Dióscoro [368].

Depois do acontecimento contado nesta lenda, Santa Bárbara passou a ser conhecida como “protetora contra os relâmpagos e tempestades” e é considerada a Padroeira dos artilheiros, dos mineiros e de todos quantos trabalham com fogo. O dia de Santa Bárbara é celebrado a 04 de dezembro, em diversos países, tal como Portugal, Inglaterra, Austrália, Canadá, Nova Zelândia, Irlanda, Noruega e Estados Unidos da América.

Quando se faz uma obra subterrânea, uma das primeiras tarefas é colocar uma imagem de Santa Barbara à entrada de cada portal, ou em junções em túneis mais compridos. Assim, faz-se uma dedicação e evocação a Santa Barbara, para proteção de todos os trabalhadores que trabalhem na construção subterrânea.

Oração de Santa Bárbara

“Santa Bárbara, que sois mais forte que as torres das fortalezas e a violência dos furacões, fazei que os raios não me atinjam, os trovões não me assustem e o troar dos canhões não me abalem a coragem e a bravura. Ficai sempre ao meu lado para que possa enfrentar de frente erguida e rosto sereno todas as tempestades e batalhas de minha vida, para que, vencedor de todas as lutas, com a consciência do dever cumprido, possa agradecer a vós, minha protetora, e render graças a Deus, criador do céu, da terra e da natureza: este Deus que tem poder de dominar o furor das tempestades e abrandar a crueldade das guerras. Por Cristo, nosso Senhor. Amen.”

5 REFERENCES

1. Tender, M., Couto, J. (2017). Study on prevention implementation in tunnels construction: *Marão Tunnel's (Portugal) singularities*. *Revista de la Construcción*, 16, 2, pp. 262-273. DOI: 10.1590/0370-44672016700151.
2. Tender, M., Couto, J. (2016). Analysis of health and safety risks in underground excavations—identification and evaluation by experts. *International Journal of Control Theory and Applications*, 9, 6, pp. 2957-2964.
3. Ritter, S., Einstein, H., Galler, R. (2013). Planning the handling of tunnel excavation material - A process of decision making under uncertainty. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 33, pp. 193-201. DOI: 10.1016/j.tust.2012.08.009.
4. Delmastro, C., Lavagno, E., Schranz, L. (2016). Underground urbanism: Master Plans and Sectorial Plans. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 103-111. DOI: 10.1016/j.tust.2016.01.001.
5. Eskesen, S. (2015). Keynote lecture. *SEE Tunnel: promoting tunnelling in SEE Region*. Kolic, D. (ed), pp. 5, Hubitg: Dubrovnik, Croácia.
6. Spencer, S. (2015). Mobilising Latin America. *Tunnels&Tunnelling*, Março, pp. 33-38.
7. Kaliampakos, D., Benardos, A., Mavrikos, A. (2016). A review on the economics of underground space utilization. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 236-244. DOI: 10.1016/j.tust.2015.10.022.
8. Girmscheid, G., Schexnayder, C. (2001). Drill and blast tunnelling practices. *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 7, 3, pp. 125-133.
9. Tender, M., Couto, J. (2016). "Safety and Health" as a criterion in the choice of tunnelling method. *Occupational Safety and Hygiene IV*. Arezes et al (ed), pp. 153-157, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
10. International Tunnelling Association - Working Groups 14 - Mechanized Tunnelling / 19 -Conventional Tunnelling (2016). Report nº 17 - Recommendations on the development process for mined tunnels. International Tunnelling Association: Avignon, França.
11. Flora, M., Vigl, A., Teuscher, P., Jager, M. (2015). Decision-making for the selection of the most suitable tunneling method. *SEE Tunnel: Promoting tunneling in SEE Region*. Kolic, D. (ed), pp. 152-153, Hubitg: Dubrovnik, Croácia.
12. Singh, P., Zoldy, D. (2014). Drilling dilemmas. *Tunnels&Tunnelling*, Outubro, pp. 46-51.
13. Valls, J. (2012). Construction management for tunnelling excavation with an Earth Pressure Balance shield in urban areas. *Master in Tunnelling and Tunnel Boring Machines*. Politecnico de Torino: Turim, Itália.
14. Tender, M., Couto, J., Ferreira, T. (2015). Prevention in underground construction with Sequential Excavation Method. *Occupation Safety and Hygiene III*. Arezes et al (ed), pp. 421-424, Taylor & Francis: Londres, Inglaterra.
15. Fulcher, B., Home, L., Hudson-Smith, E. (2015). Decision process and criteria for selection of a preferred tunnelling method. *Comunicação apresentada em: "Rapid Tunnelling and Excavation Conference"*, Los Angeles, EUA.
16. Tender, M. (2014). *Guia orientativo para a prevenção de acidentes de trabalho e doenças profissionais em obras subterrâneas realizadas com o Método de Escavação Sequencial* Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, Portugal.
17. Aneziris, O., Papazoglou, I., Kallianiotis, D. (2010). Occupational risk of tunnelling construction. *Safety Science*, 48, 8, pp. 964-972. DOI: 10.1016/j.ssci.2009.11.003.
18. Lamont, D. (2016). Health and safety in tunnelling - personal communication. D. Lamont: Inglaterra.
19. Lamont, D. (2011). Health and safety hazards in underground construction. *Comunicação apresentada em: "International Conference & Exhibition on Tunnelling And Trenchless Technology"*, Kuala Lumpur, Malásia.
20. Kikkawa, N. (2015). Analysis of labour accidents and a few preventions during tunneling construction in Japan. *World Tunnel Congress - WG5 meeting presentation*. Dubrovnik, Croácia.
21. Teixeira, P. (2009). *Aplicação do FMECA a sistemas de estabilização e reforço de maciços em túneis*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro: Aveiro, Portugal.
22. Stipek, W., Galler, R., Bauer, M. (2012). 50 years of NATM-experience reports. *International Tunnelling Association (ed)*. International Tunnelling Association: Áustria.

23. Pansiri, J. (2009). *Evolution of a doctoral thesis research topic and methodology: A personal experience*. *Tourism Management*, 30, pp. 83-89. DOI: 10.1016/j.tourman.2008.04.001.
24. Universidade do Minho (2013). *Plano estratégico Universidade do Minho 2020-Crescimento sustentado para cumprir o futuro*. Universidade do Minho: Braga, Portugal.
25. Lúcio, J. (2001). *A ligação empresa-universidade: o caso do protocolo de cooperação UNLIIDE - GITAP*. *Geolnova*, 3, pp. 192-200.
26. Shannon, H., Robson, L., Guastello, S. (1999). *Methodological criteria for evaluating occupational safety intervention research*. *Safety Science*, 31, pp. 161-179.
27. Granello, D. (2001). *Promoting cognitive complexity in graduate written work: using Bloom's taxonomy as a pedagogical tool to improve literature reviews*. *Counselor Education & Supervision*, 40, pp. 292-307.
28. Kwan, B. (2009). *Reading in preparation for writing a PhD thesis: Case studies of experiences*. *Journal of English for Academic Purposes*, 8, pp. 180-191. DOI: 10.1016/j.jeap.2009.02.001.
29. Washington, G. (1931). *The writings of Washington from the original manuscript sources 1745-1799*. U.S. Government (ed). U.S. Government: Washington, EUA.
30. Haase, F. (2010). *The state of the art as an example for a textual linguistic globalization effect*. *Letra Magna-Revista de Divulgação Científica em Língua Portuguesa, Linguística e Literatura*, 6, 13, pp. 1-12.
31. Tender, M. (2015/16). *Túnel do Marão - Arquivo fotográfico privado*.
32. Wallis, S. (2015). *Crossrail management mobilized*. Acedido a partir de <http://www.tunneltalk.com/Crossrail-management-mobilized-May-09.php> em 03/06/2015.
33. BBC (2017). *Northern Line Extension*. Acedido a partir de <http://www.bbc.com/news/uk-england-london-30032017> em 20/08/2017.
34. Transport for London (2017). Acedido a partir de <https://tfl.gov.uk/travel-information/improvements-and-projects/northern-line-extension> em 17/08/2017.
35. Atlas Copco (2015). *Underground Construction Guide*. Atlas Copco: Nacka, Suécia.
36. R.Sousa (2010). *Risk analysis for tunnelling projects*. Tese de Doutoramento em Engenharia Geotécnica e Geoambiental. Massachusetts Institute of Technology: Massachusetts, EUA.
37. Longo, S. (2006). *Análise e gestão do risco geotécnico em túneis* Tese de Doutoramento em Engenharia de Minas. Instituto Superior Técnico: Lisboa, Portugal.
38. Chapman, D., Metje, N., Stark, A. (2010). *Introduction to Tunnel Construction*. CRC Press (ed). Spon Architecture Price Book: Londres, Inglaterra.
39. Kovári, K. (2003). *History of the sprayed concrete lining method: milestones up to the 1960s*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18, pp. 57-69. DOI: 10.1016/S0886-7798(03).
40. King, J. (2000). *The 2000 Harding Lecture - A century of tunnelling and where we go now*. British Tunnelling Society: Londres, Inglaterra.
41. Dr Sauer Group (2012). *Advancing the underground*. Dr Sauer Group:
42. Kovári, K. (2001). *The control of ground response - milestones up to the 1960s*. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", Milão, Itália.
43. Hindmarch, A. (2013). *Large diameter tunnel machines- how large can we go?* Comunicação apresentada em: "British Tunnelling Society Conference", Londres, Inglaterra.
44. Skawina, B. (2013). *Comparison of mechanical excavation and drilling*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Luleå University of Technology: Lulea, Suécia.
45. Tender, M., Couto, J., Bragança, L. (2017). *The role of underground construction for the mobility, quality of life and economic and social sustainability of urban regions*. *Revista Escola de Minas*, 70, 3, pp. 265-271. DOI: 10.1590/0370-44672016700151
46. Admiraal, H., Cornaro, A. (2015). *Why underground space should be included in urban planning policy – And how this will enhance an urban underground future*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 214-220. DOI: 10.1016/j.tust.2015.11.013.
47. Hunt, D., Makana, L., Jefferson, I., Rogers, C. (2016). *Liveable cities and urban underground space*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 8-20. DOI: 10.1016/j.tust.2015.11.015.
48. Sousa, L. (2000). *Aspectos inovadores no projecto e construção de estruturas subterrâneas*. Comunicação apresentada em: "Congresso Nacional de Geotecnia", Porto, Portugal.

49. Broere, W. (2016). *Urban underground space: solving the problems of today's cities*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 245-248. DOI: 10.1016/j.tust.2015.11.012.
50. Ronka, K., Ritola, J., Rauhala, K. (1998). *Underground space in land-use planning* *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13, 1, pp. 39-49.
51. Delmastro, C., Lavagno, E., Schranz, L. (2016). *Energy and underground*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 96-102. DOI: 10.1016/j.tust.2015.10.021
52. Nelson, P. (2016). *A framework for the future of urban underground engineering*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 32-39. DOI: 10.1016/j.tust.2015.10.023.
53. Gyorgy, P., Fogarasi, I. (2015). *Management of effective use of urban underground space*. *SEE Tunnel: Promoting tunneling in SEE Region*. Kolic, D. (ed), pp. 694-695, Hubityg: Dubrovnik, Croácia.
54. Sterling, R. (1997). *Underground Technologies for Livable Cities*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 12, 4, pp. 479-490.
55. Kaliampakos, D. (2015). *New challenges in the use of underground space*. *Comunicação apresentada em: "SEE Tunnel: Promoting tunneling in SEE Region"*, Dubrovnik, Croácia.
56. Organização das Nações Unidas (2007). *World population prospects: The 2007 revision - technical report*.
57. Lamont, D. (2002). *Keynote Lecture - overview of health and safety in tunnel construction*. *Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress"*, Sidney, Austrália.
58. Tender, M. (2017). *Tunel de Bolanos - Arquivo fotográfico privado*.
59. Herrenknecht (2015). *Tunneling boring machines*. Acedido a partir de <https://www.herrenknecht.com> em 07/06/2015.
60. Jodl, H., Resch, D. (2011). *NATM and TBM – comparison with regard to construction operation*. *Geomechanics and Tunnelling*, 4, pp. 337-345. DOI: 10.1002/geot.201100019.
61. Hitachi Zosen Corporation (2015). *Slurry shield*. Acedido a partir de <http://www.hitachizosen.co.jp> em 03/05/2015.
62. Taylan, O., Bafail, A., Abdulaal, R., Kabli, M. (2014). *Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies*. *Applied Soft Computing*, 17, pp. 105-116. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.01.003.
63. Woodruff, J. (2005). *Consequence and likelihood in risk estimation: A matter of balance in UK health and safety risk assessment practice*. *Safety Science*, 43, pp. 345-353. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.07.003.
64. Grasso, P. (2016). *Risk management in tunnelling: a review of current practices and needs for future development from the designer's perspective*. *Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress"*, S.Francisco, EUA.
65. Marhavidas, P., Koulouriotis, D., Gemeni, V. (2011). *Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24, pp. 477-523. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.03.004
66. KarimiAzari, A., Mousavi, N., Mousavi, S., Hosseini, S. (2011). *Risk assessment model selection in construction industry*. *Expert Systems with Applications*, 38, pp. 9105-9111. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.12.110.
67. Miller, R., Lessard, D. (2001). *Understanding and managing risks in large engineering projects*. *International Journal of Project Management*, 19, pp. 437-443.
68. Gafari, M., Aminzadeh, R. (2015). *Identify and analyze the risks involved in tunnel projects*. *Current World Environment*, 10, pp. 1102-1108. DOI: 10.12944/CWE.10.Special-Issue1.129.
69. Eskesen, S., Tengborg, P., Kampmann, J., Veicherts, T. (2004). *Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group No. 2*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 19, pp. 217-237.
70. Nezarat, H., Sereshki, F., Ataei, M. (2015). *Ranking of geological risks in mechanized tunneling by using Fuzzy Analytical Hierarchy Process*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 50, pp. 358-364. DOI: 10.1016/j.tust.2015.07.019.
71. Spacková, O., Šejnoha, J., Straub, D. (2013). *Probabilistic assessment of tunnel construction performance based on data*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 37, pp. 62-78. DOI: 10.1016/j.tust.2013.02.006.

72. Reilly, J., Brown, J. (2004). *Management and control of cost and risk for tunnelling and infrastructure projects*. Comunicação apresentada em: "International Tunnelling Conference", Singapura.
73. Fouladgar, M., Yazdani-Chamzini, A., Zavadskas, E. (2012). Risk evaluation of tunneling projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 12, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.acme.2012.03.008.
74. Pamukcu, C. (2015). Analysis and management of risks experienced in tunnel construction. *Acta Montanistica Slovaca*, 20, 4, pp. 271-281.
75. Lamont, D. (2006). *Occupational health and safety risk management in tunnel works - keynote lecture and open session*. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", Seul, Coreia do Sul.
76. Health and Safety Executive (1996). *Safety of New Austrian Tunneling Method (NATM) Tunnels*. Health and Safety Executive (ed). Health and Safety Executive: Londres, Inglaterra.
77. Tender, M., Couto, J., Gomes, A. (2015). Portuguese strengths and fragilities on Safety and Health practices. *SEE Tunnel - Promoting tunneling in SSE Region*. Kolic, D. (ed), pp. 194-195, Hubity: Dubrovnik, Croácia.
78. Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (2015). *Construcion: hazards and risks*. Acedido a partir de <https://osha.europa.eu/en/faq/faq1/what-are-the-main-hazards-in-construction> em 05/02/2015.
79. Naghadehi, M., Benardos, A., Javdan, R., Tavakoli, H., Rojhani, M. (2016). The probabilistic time and cost risk analysis of a challenging part of an urban tunneling project. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 58, pp. 11-19. DOI: 10.1016/j.tust.2016.04.007.
80. Tender, M., Couto, J. (2017). Typification of the most common accidents at work and occupational diseases in tunnelling in Portugal. *Occupational Safety and Hygiene V. Arezes et al (ed)*, pp. 253-256, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
81. International Tunnelling Insurance Group (2012). *A code of practice for risk management of tunnel works* International Tunnelling Association: Inglaterra.
82. Carvalho, F. (2013). *Fiabilidade na avaliação de risco - estudo comparativo de métodos semi-quantitativos de avaliação de risco em contexto ocupacional*. Tese de Doutoramento em Motricidade Humana. Universidade de Lisboa: Lisboa, Portugal.
83. Hermanus, M. (2007). *Occupational health and safety in mining—status, new developments, and concerns*. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107, pp. 531-538.
84. Couto, J. (2007). *Incumprimento de prazos de construção*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho: Guimarães, Portugal.
85. Haslam, R., Hide, S., Gibb, A., Gyi, D., Pavitt, T., Atkinson, S., Duff, A. (2005). Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics*, 36, pp. 401-415. DOI: 10.1016/j.apergo.2004.12.002.
86. Carvalho, F., Melo, R. (2013). Stability and reproducibility of semi-quantitative risk assessment methods within the occupational health and safety scope. *Work*, 51, pp. 591-600.
87. Fine, W. (1971). Mathematical evaluations for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3, 4, pp. 157-166.
88. Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., Gaston, D. (2002). Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15, pp. 291-303.
89. Goh, C., Abdul-Rahman, H. (2013). The Identification and Management of Major Risks in the Malaysian Construction Industry. *Journal of Construction in Developing Countries*, 18, 1, pp. 19-32.
90. Azevedo, R., Ensslin, L., Jungles, A. (2014). A review of risk management in construction: opportunities for improvement. *Modern Economy*, 5, pp. 367-383. DOI: 10.4236/me.2014.54036.
91. Gomes, D. (2012). *Gestão de riscos na construção de túneis e obras subterrâneas*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa: Lisboa, Portugal.
92. Mahdevari, S., Shahriar, K., Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488, pp. 85-99. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.076.
93. Ceyhan, C. (2012). *Occupational health and safety hazard identification, risk assessment, determining controls*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Middle East Technical University: Turquia.
94. Barbosa, P. (2008). *Avaliação de risco em túneis rodoviários extensos em maciços rochosos*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, Portugal.

95. Badri, A., Nadeau, S., Gbodossou, A. (2013). A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 6, pp. 1145-1158. DOI: 10.1016/j.jlp.2013.04.014.
96. Khanzode, V., Maiti, J., Ray, P. (2011). A methodology for evaluation and monitoring of recurring hazards in underground coal mining. *Safety Science*, 49, pp. 1172-1179. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.03.009.
97. Conte, J., Rubio, E., García, A., Cano, F. (2011). Occupational accidents model based on risk–injury affinity groups. *Safety Science*, 49, pp. 306-314. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.09.005.
98. Labagnara, D., Martinetti, A., Patrucco, M. (2013). Tunneling Operations, Occupational S&H and Environmental Protection: A Prevention through Design Approach. *American Journal of Applied Sciences*, 10, 11, pp. 1371-1377. DOI: 10.3844/ajassp.2013.1371.1377.
99. Ale, B., et al. (2008). Quantifying occupational risk: The development of an occupational risk model. *Safety Science*, 46, pp. 176-185. DOI: 10.1016/j.ssci.2007.02.001.
100. Kinney, G., Wiruth, A. (1976). *Practical risk analysis for safety management*. Naval Weapons Center: Califórnia, EUA.
101. Gadd, S., Keeley, D., Balmforth, H. (2004). Pitfalls in risk assessment: examples from the UK. *Safety Science*, 42, pp. 841-857. DOI: 10.1016/j.ssci.2004.03.003.
102. Comissão Europeia (2008). *Causes and circumstances of accidents at work in the EU*. Comissão Europeia: Luxemburgo.
103. Pasman, H. (2015). Costs of accidents, costs of safety, risk-based economic decision making: risk management. *Risk Analysis and Control for Industrial Processes-Gas, Oil and Chemicals*. Owen, C. (ed), pp. 383-406, Elsevier: Waltham, EUA.
104. Rodrigues, M., Rubio-Romero, J., Arezes, P., Soriano-Serrano, M. (2016). Occupational risk assessment at Olive Oil Mills: Limitations and new perspectives. *DYNA*, 83, 196, pp. 21-26. DOI: 10.15446/dyna.v83n196.56604.
105. Høj, N., Kroger, W. (2002). Risk analyses of transportation on road and railway from a European Perspective. *Safety Science*, 40, pp. 337-357.
106. Azevedo, R. (2010). *Acidentes em operações de movimentação manual de cargas na construção*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Escola de Engenharia da Universidade do Minho: Guimarães, Portugal.
107. Reis, A. (2014). Regras para a prevenção de riscos na elaboração de projetos de cofragens. Comunicação apresentada em: "11º Congresso Internacional de Segurança e Saúde no Trabalho", Porto, Portugal.
108. British Standard Institute (2011). *British Standard 6164 - Code of practice for health and safety in tunnelling in the construction industry*. British Standard Londres, Inglaterra.
109. Health and Safety Executive (1996). *The Channel Tunnel - Aspects of health and safety during construction*. Health and Safety Executive (ed). Health and Safety Executive: Suffolk, Reino Unido.
110. Ichikawa, N. (2015). Statistical accident analysis and electrical fatality rate in Japan, 2002-2011 - Causes and preventive measures of fatal electrical. Comunicação apresentada em: "IEEE Electrical Safety Workshop", Louisville, EUA.
111. Castillo-Rosa, J., Suárez-Cebador, M., Rubio-Romero, J., Aguado, J. (2016). Consequences of occupational accidents due to direct and indirect contact. *Occupational Safety and Hygiene IV*. Arezes et al (ed), pp. 209-212, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
112. Cawley, J., Homce, G. (2003). Occupational electrical injuries in the United States, 1992-1998, and recommendations for safety research. *Journal of Safety Research*, 34, pp. 241-248. DOI: 10.1016/S0022-4375(03)00028-8.
113. Calado, J., Pereira, P. (2005). *Evolução tecnológica das emulsões em Portugal*. Comunicação apresentada em: "XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros", Ponta Delgada, Portugal.
114. Bernardo, P. (2014). *Impactes ambientais do uso de explosivos na escavação de rochas, com ênfase nas vibrações*. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico: Lisboa, Portugal.
115. Kecojevic, V., Radomsky, M. (2005). Flyrock phenomena and area security in blasting-related accidents. *Safety Science*, 43, pp. 739-750. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.07.006.

116. Bajpayee, T., Bhatt, S., Rehak, T., Mowrey, G., Ingram, D. Fatal accidents due to flyrock and lack of blast area security and working practices in mining. Acedido a partir de <https://www.cdc.gov/niosh/mining/userfiles/works/pdfs/fadtbf.pdf> em 30/03/2017.
117. Bernard, T., Dozolme, P. (2014). The digital simulation of blasts: a major challenge for mines in the 21st century. *Procedia Engineering*, 83, pp. 100-110. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.09.019.
118. Ulvestad, B., Bakke, B., Eduard, W., Kongerud, J., Lund, M. (2001). Cumulative exposure to dust causes accelerated decline in lung function in tunnel workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 58, pp. 663-669.
119. Ulvestad, B., Lund, M., Bakke, B., Djupeslandz, P., Kongerud, J., Boe, J. (2001). Dust and gas exposure in underground construction is associated with signs of airway inflammation. *European Respiratory Journal*, 17, pp. 416-421. DOI: 10.1080/15298660108984647.
120. Bakke, B., Stewart, P., Ulvestad, B., Eduard, W. (2001). Dust and gas exposure in tunnel construction work. *American Industrial Hygiene Association Journal* 62, 4, pp. 457-465.
121. Fagermo, J., Ulvestad, B., Lien, J., Rodset, K., Hegghammer, T., Messelt, H. (2015). Occupational health challenges in different types of underground operations. *Publication 24-Health, safety and environment in Norwegian tunnelling*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 23-29, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
122. Huang, L., Bohne, R., Bruland, A., Jakobsen, P. (2015). Environmental impact of drill and blast tunneling: life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 86, pp. 110-117. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.08.083.
123. Bakke, B., Ulvestad, B. (2015). Exposure to aerosols and gases in modern tunnelling operations and lung function decline. *Publication 24-Health, Safety and Environment in Norwegian Tunnelling*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 15-20, Norwegian Tunnelling Society, Oslo, Noruega.
124. Hermann, R., Storås, I. (2013). Health aspects of sprayed concrete. *Publication 13-Health and safety*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 69-73, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
125. Oliver, L., Miracle-McMahill, H. (2006). Airway disease in highway and tunnel construction workers exposed to silica. *American Journal of Industrial Medicine*, 49, pp. 983-996. DOI: 10.1002/ajim.20406.
126. Chen, C., et al. (2017). Impact of high soot-loaded and regenerated diesel particulate filters on the emissions of persistent organic pollutants from a diesel engine fueled with waste cooking oil-based biodiesel. *Applied Energy*, 191, pp. 35-43. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.01.046.
127. Lamont, D. (2012). Health and safety in tunnel construction. *Comunicação apresentada em: "Health & Safety in Tunnel Construction"*, Nova Deli, Índia.
128. Crossrail (2015). *Best practice guide - construction site - fire safety*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
129. Pino, J., Puig, D. (2013). *Nota Técnica de Prevención 905/906 - Seguridad en trabajos con tuneladoras*. Madrid, Espanha.
130. Crossrail (2015). *Best practice guide construction railway operations*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
131. Vogel, M., Kunz-Vondracek, I. (2013). Safety and health in long deep tunneling-lessons learned in Swiss transalpine tunnel projects. *Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress"*, Genebra.
132. Health and Safety Executive (2010). *Fire safety in construction*. Health and Safety Executive (ed). Health and Safety Executive: Suffolk, Inglaterra.
133. Li, M., Aminossadati, S., Wua, C. (2016). Numerical simulation of air ventilation in super-large underground developments. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 52, pp. 38-43. DOI: 10.1016/j.tust.2015.11.009.
134. Prostanski, D. (2015). Experimental study of coal dust deposition in mine workings with the use of empirical models. *Journal of Sustainable Mining*, 14, 2, pp. 108-114. DOI: 10.1016/j.jsm.2015.08.015.
135. Bakke, B., Stewart, P., Eduard, W. (2002). Determinants of dust exposure in tunnel construction work. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 17, 11, pp. 783-796. DOI: 10.1080/10473220290096032.
136. Xia, Y., Yang, D., Hua, C., Wua, C., Han, J. (2016). Numerical simulation of ventilation and dust suppression system for open-type TBM tunneling work area. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 56, pp. 70-78. DOI: 10.1016/j.tust.2016.03.003.
137. Sandvik (1999). *Rock excavation handbook*. Heinio, M. (ed).

138. Ulvestad, B., Bakke, B., Melbostad, E., Fuglerud, P., Kongerud, J., Lund, M. (2000). Increased risk of obstructive pulmonary disease in tunnel workers. *Thorax*, 55, pp. 277-282.
139. Hnizdo, E., Vallyathan, V. (2003). Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. *Occupational and Environmental Medicine*, 60, pp. 237-243.
140. Greenberg, M., Waksman, J. (2007). Silicosis: a review. *Disease-a-month*, 53, pp. 394-416. DOI: 10.1016/j.disamonth.2007.09.020.
141. Leung, C., Yu, I., Chen, W. (2012). Silicosis. *The Lancet*, 379, pp. 2008-2018. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60235-9.
142. Naghadehi, M., Sereshki, F., Mohammadi, F. (2014). Pathological study of the prevalence of silicosis among coal miners in Iran: A case history. *Atmospheric Environment*, 84, pp. 1-5. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.053.
143. Gaggero, L., Sanguineti, E., Gonzalez, A., Militello, G., Scuderi, A., Parisi, G. (2017). Airborne asbestos fibres monitoring in tunnel excavation. *Journal of Environmental Management*, 196, pp. 583-593. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.055.
144. Lebecki, K., Małachowski, M., Sołtysiak, T. (2016). Continuous dust monitoring in headings in underground coal mines *Journal of Sustainable Mining*, 15, 4, pp. 125-132. DOI: 10.1016/j.jsm.2017.01.001.
145. Petavratzi, E., Kingman, S., Lowndes, I. (2005). Particulates from mining operations: A review of sources, effects and regulations. *Minerals Engineering*, 18, pp. 1183-1189. DOI: 10.1016/j.mineng.2005.06.017.
146. National Institute for Occupational Safety and Health (2012). A guide to working safely with silica. National Institute for Occupational Safety and Health: EUA.
147. Stalnaker, C. (2006). Hawk's Nest Tunnel. *Professional Safety*, Outubro, pp. 27-33.
148. Vogel, M., Rast, H. (2001). Alptransit-Safety in Construction as a challenge. *Tunnelling and Underground Space Technology* 15, 4, pp. 481-484.
149. Höfler, J., Schlumpf, J., Jahn, M. (2011). Sika sprayed concrete handbook. Sika Services AG/Putzmeister AG (ed). Sika Services AG: Zurique, Suíça.
150. Melo, M., Souto, M., Vasconcelos, D. (2014). Methodology of chemical hazard management-a tool for occupational health promotion. *Occupational Safety and Hygiene III*. Arezes et al (ed), pp. 103-107, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
151. Fagermo, J., Ulvestad, B., Lien, J., Rodset, K., Hegghammer, T., Messelt, H. (2015). Tunnel excavation, risks and preventive actions. *Publication 24-Health, safety and environment in Norwegian tunnelling*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 41-45, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
152. Irvine, C., Pugh, C., Hansen, E., Rycroft, R. (1994). Cement dermatitis in underground workers during construction of the Channel Tunnel. *Occupational Medicine*, 44, pp. 17-23.
153. Crossrail (2013). *Health By Design - A Guide for Crossrail Design Teams*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
154. Furuseth, K., Meraker, E., Hansen, T., Myran, T., Brustad, G. (2013). Recent studies of health effects in tunnel construction work in Norway *Publication 13-Health and safety*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 65-68, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
155. Construction Safety Council (2012). *Health hazards in construction workbook*. Occupational Safety and Health Administration (ed). Occupational Safety and Health Administration: Illinois, EUA.
156. Fagermo, J., Ulvestad, B., Lien, J., Rodset, K., Hegghammer, T., Messelt, H. (2015). Work behind the tunnel face. *Publication 24-Health, safety and environment in Norwegian tunnelling*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 53-56, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
157. Pacheco-Blandino, I., Vanner, R., Buzea, C. (2012). Toxicity of nanoparticles. *Toxicity of building materials*. Pacheco-Torgal et al (ed), pp. 427-475, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Cambridge, Inglaterra.
158. Crossrail (2015). *Best practice guide pressure system*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
159. Yang, J., Lu, W., Zhao, Z., Yan, P., Chen, M. (2014). Safety distance for secondary shotcrete subjected to blasting vibration in Jinping-II deep-buried tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 43, pp. 123-132. DOI: 10.1016/j.tust.2014.04.008.
160. Brox, D. (2013). Technical considerations for TBM tunneling for mining projects. *Transactions of the Society for Mining, Metallurgy and Exploration* 334, pp. 498-505.

161. Nilsen, B. (2015). *Special underground risk elements. Publication 24-Health, safety and environment in norwegian tunnelling*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 31-35, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
162. King, M., John, A., Brown, D., Comins, J. (2016). *Sprayed Concrete Lining Falls and Exclusion Zone Management. Crossrail Project: Infrastructure design and construction*. Crossrail (ed), pp. 147-162, Thomas Telford Limited and Crossrail: Londres, Inglaterra.
163. Bernard, E. (2008). *Early-age load resistance of fibre reinforced shotcrete linings*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, pp. 451-460.
164. Galobardes, I., Cavalaro, S., Goodier, C., Austin, S., Rueda, A. (2015). *Maturity method to predict the evolution of the properties of sprayed concrete*. *Construction and Building Materials*, 79, pp. 357-369. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.038.
165. Prudêncio, L. (1998). *Accelerating admixtures for shotcrete*. *Cement and concrete composites*, 20, pp. 213-219.
166. Azevedo, R., Martins, C., Teixeira, J., Barroso, M. (2014). *Obstacle clearance while performing manual material handling tasks in construction sites*. *Safety Science*, 62, pp. 205-213. DOI: 10.1016/j.ssci.2013.08.016.
167. Jebelli, H., Ahn, C., Stentz, T. (2016). *Fall risk analysis of construction workers using inertial measurement units: Validating the usefulness of the postural stability metrics in construction*. *Safety Science*, 84, pp. 161-170. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.12.012.
168. Lipscomb, H., Glazner, J., Bondy, J., Guarini, K., Lezotte, D. (2006). *Injuries from slips and trips in construction*. *Applied Ergonomics*, 37, pp. 267-274. DOI: 10.1016/j.apergo.2005.07.008.
169. Beeck, R., Hermans, V. (2000). *Work-related low back disorders*. Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho: Bélgica.
170. Carrillo-Castrillo, J., Rubio-Romero, J. (2014). *Causes of musculoskeletal accidents identified in official investigations*. *Occupational Safety and Hygiene III*. Arezes et al (ed), pp. 13-18, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
171. Mehta, R., Agnew, M. (2010). *Analysis of individual and occupational risk factors on task performance and biomechanical demands for a simulated drilling task*. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, pp. 584-591. DOI: 10.1016/j.ergon.2010.06.003.
172. Silva, L., Carneiro, P., Braga, A. (2016). *Work-Related Musculoskeletal Disorders of the upper limbs in an auto components company*. *Occupational Safety and Hygiene*. Arezes et al (ed), pp. 463-468, Taylor & Francis: Londres, Inglaterra.
173. Serranheira, F., Lopes, F., Uva, A.S. (2003). *Lesões músculo-esqueléticas (LME) e trabalho*. *Revista Saúde e Trabalho*, 5, pp. 59-88.
174. Donoghue, A. (2004). *Occupational health hazards in mining: an overview*. *Occupational Medicine*, 54, pp. 283-289. DOI: 10.1093/occmed/kqh072.
175. McPhee, B. (2004). *Ergonomics in mining*. *Occupational Medicine*, 54, pp. 297-303. DOI: 10.1093/occmed/kqh071.
176. Crossrail (2015). *Best practice guide lifting operations*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
177. Groves, W., Kecojevic, V., Komljenovic, D. (2007). *Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment*. *Journal of Safety Research*, 38, pp. 461-470. DOI: 10.1016/j.jsr.2007.03.011.
178. Tak, S., et al. (2011). *Physical ergonomic hazards in highway tunnel construction: Overview from the Construction Occupational Health Program*. *Applied Ergonomics*, 42, pp. 665-671. DOI: 10.1016/j.apergo.2010.10.001.
179. Ray, P., Parida, R., Saha, E. (2015). *Status survey of occupational risk factors of manual material handling tasks at a construction site in India*. *Procedia Manufacturing*, 3, pp. 6579-6586. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.279.
180. Harrington, D., Ash, S. (1941). *Some essential safety factors in tunnelling*. United States Department of the Interior-Bureau of Mines: Washington, EUA.
181. Tender, M., Couto, J., Baptista, J., Garcia, A. (2016). *Prevenção no Túnel do Marão*. *Revista Segurança*, 233, pp. 11-18.

182. Rønn, P., Bruland, A., Beitnes, A., Beitnes, N. (2015). Working conditions behind the tunnel face—challengest calling for new solutions. *Publication 13-Health and Safety*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 55-59, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
183. Lavoie, J. (2006). Exposure to aerosolized bacteria and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. *Science of the Total Environment*, 370, 1, pp. 23-28. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.05.016.
184. Kunz, I., Jost, M. (2011). Légionellose: danger de contamination sur les chantiers souterrains. Acedido a partir de <http://www.suva.ch/medecine-du-travail-factsheets> em 05/06/2017.
185. Mondal, N., Dey, M., Datta, J. (2014). Vulnerability of bus and truck drivers affected from vehicle engine noise. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3, pp. 199-206. DOI: 10.1016/j.ijbsbe.2014.10.001.
186. Saremi, M., Rohmer, O., Burgmeier, A., Bonnefond, A., Muzet, A., Tassi, P. (2008). Combined effects of noise and shift work on fatigue as a function of age. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14, 4, pp. 387-394.
187. Niekerk, J., Heyns, P., Heyns, M. (2000). Human vibration levels in the South African mining industry. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Julho, pp. 235-242.
188. Bernardo, C., Matos, M., Baptista, J. (2014). Whole-body vibration in open pit mining—a short review. *Occupational Safety and Hygiene II*. Arezes et al (ed), pp. 459-464, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
189. Eger, T., Stevenson, M. (2011). Influence on vehicle size, haulage capacity and ride control on vibration exposure and predicted health risks for LHD vehicle operators. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration & Active Control*, 30, 1, pp. 45-62.
190. Dentoni, V., Massacci, G. (2013). Occupational exposure to whole-body vibration: unfavourable effects due to the use of old earth-moving machinery in mine reclamation. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 27, 2, pp. 127-142. DOI: 10.1080/17480930.2012.672271.
191. Bernardo, C., Matos, M., Baptista, J. (2014). Whole-body vibration in drilling, loading and transport operations in quarry. *International Symposium on Occupational Safety and Hygiene-Proceedings Book*. Arezes et al (ed), pp. 17-19, SPOSHO: Guimarães, Portugal.
192. Kumar, S. (2004). Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining. *Applied Ergonomics*, 35, pp. 509-520. DOI: 10.1016/j.apergo.2004.06.009.
193. Eger, T., Stevenson, J., Boileau, P., Salmoni, A. (2008). Predictions of health risks associated with the operation of load-haul-dump mining vehicles: Part 1—Analysis of whole-body vibration exposure using ISO 2631-1 and ISO-2631-5 standards. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, pp. 726-738. DOI: 10.1016/j.ergon.2007.08.012.
194. British Tunnelling Society (2006). *The management of hand-arm vibration in tunnelling - guide to good practice*. British Tunnelling Society (ed). British Tunnelling Society: Londres, Inglaterra.
195. Health and Safety Executive (2005). *Hand-arm vibration - the control of vibration at work regulations*. Health and Safety Executive: Norwich, Inglaterra.
196. Rast, H., Hofer, L., Jost, M., Kunz, I. (2003). *Prophylaxie médicale lors des travaux souterrains en ambiance chaude et humide*. SUVA Pro: Lucerna, Suíça.
197. Lamont, D. (2006). *Decompression illness and its regulation in contemporary UK tunneling - an engineering perspective*. Tese de Doutoramento. Aston University: Aston, Inglaterra.
198. Bethea, D., Cartney, S. (2015). *Occupational heat stress in compressed air - validity of current heats stress indices*. Crown: Londres, Inglaterra.
199. Costa, R., Teixeira, S., Loureiro, I. (2016). Numerical modeling of the physical parameters of the thermal environment in industrial contexts. *Occupational Safety and Hygiene IV*. Arezes et al (ed), pp. 281-285, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
200. Guedes, J., Baptista, J., Álvares, M., Vaz, M., Conceição, F., Campos, J., Santos, J. (2016). Physical exertion in military during heat stress conditions—preliminary results. *Occupational Safety and Hygiene IV*. Arezes et al (ed), pp. 579-583, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
201. Blindheim, O. (2013). *Geological hazards - Causes, effects and prevention* Publication 13-Health and safety. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 23-29, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.

202. Zlatar, T., Vardasca, R., Marques, A. (2015). Changes in face and hands skin temperatures during exposure to moderate cold thermal environment. *Occupational Safety and Hygiene III*. Arezes et al (ed), pp. 267-272, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
203. Gonçalves, R., Guedes, J., Baptista, J. (2015). Muscle fatigue: evaluation by electromyography at different thermal environments. *Occupational Safety and Hygiene III*. Arezes et al (ed), pp. 349-353, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
204. Silva, A., Dinis, M., Pereira, A. (2016). Measurements of indoor radon and total gamma dose rate in Portuguese thermal spas. *Occupational Safety and Hygiene IV*. Arezes et al (ed), pp. 485-489, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
205. Robbins (2016/17). Arquivo fotográfico privado.
206. NFM (2016/17). Arquivo fotográfico privado.
207. SMP (2017). Hyperbaric tunnelling systems. Acedido a partir de <http://www.smp-ltd.com/brochures/hyperbaric-tunnelling-systems.pdf> em 21/08/2017.
208. Lamont, D., Booth, R. (2006). Occupation as a risk factor in tunnelling. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", Seul, Coreia do Sul.
209. Petri, N., Andric, D. (2003). Differential diagnostic problems of decompression sickness - examples from specialist physicians' practices in diving medicine. *Archives of Medical Research*, 34, pp. 26-30.
210. Lamont, D. (2014). High pressure compressed air - the ITA/BTS guidelines. *International Tunnelling Association/British Tunnelling Society: Inglaterra*.
211. Organização Internacional do Trabalho (2014). Riscos emergentes e novas formas de prevenção num mundo de trabalho em mudança. Acedido a partir de http://www.ilo.org/public/portugue/region/eurpro/lisbon/pdf/28abril_10_pt.pdf em 06/05/2015.
212. Akerstedt, T. (2003). Shift work and disturbed sleep/wakefulness. *Occupational Medicine*, 53, pp. 89-94.
213. Arendt, J. (2010). Shift work: coping with the biological clock. *Occupational Medicine*, 60, 1, pp. 10-20.
214. Knutsson, A. (2003). Health disorders of shift workers. *Occupational Medicine*, 53, pp. 103-108. DOI: 10.1093/occmed/kqg048.
215. Cabeças, J. (2014). A methodology to identify negative occupational well-being hazards. *Occupational Safety and Hygiene II*. Arezes et al (ed), pp. 5-11, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
216. Pessoa, J., Júnior, L., Santos, M. (2014). Work organization and the interfaces with occupational stress. *Occupational Safety and Hygiene II*. Arezes et al (ed), pp. 675-679, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
217. Organização Internacional do Trabalho (2003). Safety in numbers - pointers for global safety culture at work. *Organização Internacional do Trabalho: Genebra, Suíça*.
218. Organização Internacional do Trabalho (2011). Global trends and challenges on occupational safety and health. *Organização Internacional do Trabalho: Istambul, Turquia*.
219. ITA-Working Group N°5 Health and Safety at works (2014). Guidelines for the provision of refuge chambers in tunnels under construction. *International Tunneling Association: Avignon, França*.
220. Golestanifar, M., Goshtasbi, K., Jafarian, M., Adnani, S. (2011). A multi-dimensional approach to the assessment of tunnel excavation methods. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 48, pp. 1077-1085. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2011.07.001.
221. Girmscheid, G., Walti, R. (2001). High performance drill and blast method - progress in efficiency through industrialized backup systems and process configuration. *Progress in tunnelling after 2000*, 2, pp. 163-171. DOI: 10.3929/ethz-a-005935836.
222. Kim, Y., Moon, J., Shim, J., Lee, S., Choi, C., Chun, Y. (2011). Comparative risk analysis of NATM and TBM for mixed-face large-diameter urban tunneling. *Journal of Korean Society of Underground Tunnels*, 13, 1, pp. 19-32.
223. Barton, N. (2012). Reducing risk in long deep tunnels by using TBM and drill-and-blast methods in the same project—the hybrid solution. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 4, pp. 115-126.
224. Konstantis, T., Konstantis, S., Spyridis, P. (2016). Tunnel losses: causes, impact, trends and risk engineering management. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", S.Francisco, EUA.
225. Home, L. (2015). Make way for TBMs. *Tunnels&Tunnelling*, Abril, pp. 48-50.

226. Loureiro, T. (2008). *Aspectos geotécnicos na construção de túneis em áreas urbanas*. Tese de Mestrado em Engenharia Geológica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa: Lisboa, Portugal.
227. Toan, N. (2006). *TBM and Lining - Essential Interfaces*. Master in Tunnelling and Tunnel Boring Machines. Politécnico de Torino: Turim, Itália.
228. International Tunnelling Association - Working Group Conventional Tunnelling (2009). *ITA Report 002-General report on conventional tunnelling method*. International Tunneling and Underground Space Association: Avignon, França.
229. Goel, R. (2016). *Experiences and lessons from the use of TBM in the Himalaya – A review*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 57, pp. 277-283. DOI: 10.1016/j.tust.2016.02.015.
230. Holen, H. (2011). *TBM vs Drill & Blast Tunneling Publication 11-Health and Safety*. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 95-98, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
231. Nord, G. (2006). *TBM versus Drill and Blast, the choice of tunneling method* Comunicação apresentada em: "International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology", Subang, Malásia.
232. Greifeneder, E. (2003). *Comparison of cut-and-cover tunneling method vs. New Austrian Tunneling Method (NATM) for urban tunnels with shallow overburden*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Viena: Viena, Áustria.
233. Gratias, R., Allan, C., Willis, D. (2014). *The next level: why deeper is better for TBMs in mining*. North American Tunneling. Davidson et al (ed), pp. 118-125, Society for Mining, Metallurgy and Engineering: Colorado, EUA.
234. OSALAN-Instituto Vasco de Seguridad Y Salud Laborales (2012). *Guia para la prevencion de riesgos laborales en la ejecución de túneles*. OSALAN (ed). OSALAN: Baracaldo, Espanha.
235. Myran, T. (2002). *Norwegian TBM Tunnelling. Health and safety*. Publication 11-Health and safety. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 91-93, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
236. Crossrail (2015). *Crossrail*. Acedido a partir de <http://www.crossrail.co.uk/> em 30/06/2015.
237. Ocak, I., Bilgin, N. (2010). *Comparative studies on the performance of a roadheader, impact hammer and drilling and blasting method in the excavation of metro station tunnels in Istanbul*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25, pp. 181-187. DOI: 10.1016/j.tust.2009.11.002.
238. Messinella, M. (2010). *Models for the analysis of tunnelling construction processes*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Twente: Twente, Holanda.
239. Gáñez, J., Guijarro, L., Ruiz, M. (2011). *Seguridad en la construccion de túneles*. Comunicação apresentada em: "International Rail Forum", Madrid, Espanha.
240. Sultan, N. (2016). *Hawks Nest disaster*. *Tunnels&Tunnelling*, Julho, pp. 29-33.
241. Hola, B., Szóstak, M. (2014). *Analysis of the development of accident situation in the construction industry*. *Procedia Engineer* 91, pp. 429-434. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.088.
242. Reis, C. (2007). *Melhoria da eficácia dos planos de segurança na redução dos acidentes na construção*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, Portugal.
243. Pirsahab, M., Zinatizade, A., Asadi, F., Pourhaghighat, S., Mohamadi, A., Sharafi, K. (2015). *Assessment and risk, safety, health and environmental management of on shore drilling machines of National Iranian Drilling Company with the method of 'William Fine'*. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5, 3, pp. 127-132.
244. Hale, A., et al. (2007). *Modeling accidents for prioritizing prevention*. *Reliability Engineering and System Safety*, 92, pp. 1701-1715. DOI: 10.1016/j.ress.2006.09.025.
245. Brenner, H., Ahern, W. (2000). *Sickness absence and early retirement on health grounds in the construction industry in Ireland*. *Occupational and Environmental Medicine*, 57, pp. 615-620.
246. Eurostat (2009). *Statistics in focus - 63/2009*. Eurostat: Luxemburgo.
247. Jacinto, C., Aspinwall, E. (2004). *A survey on occupational accidents' reporting and registration systems in the European Union*. *Safety Science*, 42, pp. 933-960.
248. Meijering, J., Tobi, H. (2016). *The effect of controlled opinion feedback on Delphi features: mixed messages from a real-world Delphi experiment*. *Technological Forecasting and Social Change*, 103, pp. 166-173.

249. Zio, S., Pacinelli, A. (2011). *Opinion convergence in location: a spatial version of the Delphi Method*. *Technological Forecasting & Social Change*, 78, pp. 1565-1578. DOI: 10.1016/j.techfore.2010.09.010.
250. Renzi, A., Freitas, S. (2015). *The Delphi Method for future scenarios construction*. *Procedia Manufacturing*, 3, pp. 5785-5791. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.826.
251. Dalkey, N., Helmer, O. (1962). *Memorandum RM-727/1-An experimental application of the Delphi method to the use of experts*. Rand Corporation: Califórnia, EUA.
252. Hamalainen, P., Takala, J., Saarela, K. (2006). *Global estimates of occupational accidents*. *Safety Science*, 44, pp. 137-156. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.08.017.
253. Ling, F., Liu, M., Woo, Y. (2009). *Construction fatalities in Singapore*. *International Journal of Project Management*, 27, pp. 717-726. DOI: 10.1016/j.ijproman.2008.11.002.
254. *International Tunnelling Association-Working Group 5 (2008). ITA Report nº 001- Guidelines for good occupational health and safety practice in tunnel construction*. International Tunneling Association: Avignon, França.
255. Waris, M., Liew, S., Khamidi, F., Idrus, A. (2014). *Criteria for the selection of sustainable onsite construction equipment*. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3, pp. 96-110. DOI: 10.1016/j.ijsbe.2014.06.002.
256. Matos, M., Ramos, F. (2010). *Indústria extractiva: análise de riscos ocupacionais e doenças profissionais*. *International Symposium on Occupational Safety and Hygiene-Proceedings book*. Arezes et al (ed), pp. 339-343, SPOSHO: Guimarães, Portugal.
257. Marica, L., Irimie, S., Baleanu, V. (2015). *Aspects of occupational morbidity in the mining sector*. *Procedia Economics and Finance*, 23, pp. 146-151. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00368-8.
258. Galea, K., Mair, C., Alexander, C., Tongeren, M. (2015). *Occupational exposure to respirable dust, respirable crystalline silica and diesel engine exhaust emissions in the London tunnelling environment*. Londres, Inglaterra.
259. *Crossrail (2013). Health and safety standard for contractors and industry partners*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
260. Anderson, J. (1998). *Minimising underground construction risks requires maximum engineering effort*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13, 4, pp. 365-368.
261. Hinze, J., Wiegand, F. (1992). *Role of designers in construction worker safety*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118, pp. 667-684.
262. Arévalo, C. (2013). *Integración de la prevención en el diseño de obras de construcción: relación con la siniestralidad laboral, análisis de su regulación normativa, bases conceptuales y desarrollo internacional*. *Informes de la Construcción*, 65, 531, pp. 325-334. DOI: doi: 10.3989/ic.12.006.
263. Behm, M. (2005). *Linking construction fatalities to the design for construction safety concept*. *Safety Science*, 43, pp. 589-611. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.04.002.
264. Valério, B. (2013). *Modelo de gestão de prevenção de acidentes para a fase de concepção*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, Portugal.
265. Cardoso, P. (2009). *Modelo de prevenção de acidentes na construção*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, Portugal.
266. Gilbertson, A., Kappia, J., Boshier, L., Gibb, A. (2011). *Research Report - preventing catastrophic events in construction*. Health and Safety Executive: Londres, Inglaterra.
267. Soeiro, A., Vasconcelos, B., Barkokébas, B. (2013). *Prevention through design: guidelines for designers*. Comunicação apresentada em: "Coordina 2011-Second European Conference on Health and Safety Coordination in the Construction Industry", Madrid, Espanha.
268. Pinto, A., Nunes, I., Ribeiro, R. (2011). *Occupational risk assessment in construction industry – overview and reflection*. *Safety Science*, 49, pp. 616-624. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.01.003.
269. Moore, J., Cigularov, K., Sampson, J., Rosecrance, J., Chen, P. (2013). *Construction workers' reasons for not reporting work-related injuries: an exploratory study*. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19, 1, pp. 97-105.
270. DeJoy, D., Schaffer, B., Wilson, M., Vandenberg, R., Butts, M. (2004). *Creating safer workplaces: assessing the determinants and role of safety climate*. *Journal of Safety Research*, 35, 1, pp. 81-90. DOI: 10.1016/j.jsr.2003.09.018.

271. Health and Safety Executive (2009). *The safe use of vehicles on construction sites*. Health and Safety Executive (ed). HSE: Suffolk, Inglaterra.
272. Ifrim, D., Skelhorn, S. (2016). *Should the TBM Operators Be Certified?* Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", S. Francisco, EUA.
273. Bahn, S. (2013). *Workplace hazard identification and management: the case of an underground mining operation*. *Safety Science*, 57, pp. 129-137. DOI: 10.1016/j.ssci.2013.01.010.
274. Tender, M., Couto, J., Baptista, J., Garcia, A. (2017). *Topics for the prevention of accidents in tunnels – the Marão Tunnel experience*. *Occupational Safety and Hygiene V. Arezes et al (ed)*, pp. 257-261, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
275. Wilkins, J. (2011). *Construction workers' perceptions of health and safety training programmes*. *Construction Management and Economics*, 29, 10, pp. 1017-1026. DOI: 10.1080/01446193.2011.633538.
276. Vikane, K. (2015). *Emergency preparedness*. Publication 24-Health, safety and environment in Norwegian tunnelling. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 71-73, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
277. Tender, M. (2016). Arquivo fotográfico privado.
278. Déjus, T., Antuchevičienė, J. (2013). *Assessment of health and safety solutions at a construction site*. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19, 5, pp. 728-737. DOI: 10.3846/13923730.2013.812578.
279. Bolt, H., Haslam, R., Gibb, A., Waterson, P. (2012). *Report 2012/269 - Pre-conditioning for success: analysis of human and organisational factors*. Olympic Delivery Authority (ed). Londres, Inglaterra.
280. Tamkin, P., Lucy, D. (2012). *Report 2011/269 - leadership and worker involvement on the Olympic Park*. Olympic Delivery Authority: Londres, Inglaterra.
281. Tender, M. (2016). Arquivo fotográfico privado - Canary Wharf Station.
282. Hasan, A., Jha, K. (2013). *Safety incentive and penalty provisions in Indian construction projects and their impact on safety performance*. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 20, pp. 3-12. DOI: 10.1080/17457300.2011.648676.
283. Hails, S. (2014). *Building a successful safety culture across a widespread workforce through effective leadership*. Comunicação apresentada em: "IOSH Conference-Inspiring leadership", Londres, Inglaterra.
284. Lamont, D. (2010). *Occupational health and welfare in tunnelling*. Comunicação apresentada em: "British Tunneling Society YM", Inglaterra.
285. Tyers, C., Hicks, B. (2012). *Report RR921 - Occupational health provision on the Olympic Park and athletes' village*. Health and Safety Executive: Londres, Inglaterra.
286. Tyers, C., Speckesser, S., Hicks, B., Baxter, K., Gilbert, M., Ball, E. (2012). *Report 2012/269-Occupational hygiene at the Olympic Park and Olympic and Paralympic Village*. Health and Safety Executive: Londres, Inglaterra.
287. Mazarrón, F., Porras-Amores, C., Cañas-Guerrero, I. (2015). *Annual evolution of the natural ventilation in an underground construction: Influence of the access tunnel and the ventilation chimney*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 49, pp. 188-198. DOI: 10.1016/j.tust.2015.04.015.
288. Norris, C., Mercusot, A., Oriez, P. (2016). *Mechanical ventilation of underground construction works in France*. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", S. Francisco, EUA.
289. Fang, Y., Fan, J., Kenneally, B., Mooney, M. (2016). *Air flow behavior and gas dispersion in the recirculation ventilation system of a twin-tunnel construction*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 58, pp. 30-39. DOI: 10.1016/j.tust.2016.04.006.
290. British Tunnelling Society (2008). *Occupational exposure to nitrogen monoxide in a tunnel environment - Best Practice Guide* British Tunnelling Society: Inglaterra.
291. Liu, Z., Wang, X., Cheng, Z., Sun, R., Zhang, A. (2014). *Simulation of construction ventilation in deep diversion tunnels using Euler-Lagrange method*. *Computers & Fluids*, 105, pp. 28-38. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.09.016.
292. ITA WG5 – *Health & Safety in Works* (2011). ITA Report n°008 - *Guidance on the safe use of temporary ventilation ducting in tunnels*. ITA-AITES: Avignon, França.
293. Lima, J. (2013). *Development in ventilation methods* Publication 13-Health and safety. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 39-43, Norwegian Tunnelling Society, : Oslo, Noruega.

294. Workman, D., Martz, D., Lipofsky, S., Shea, J. (2016). A novel continuous conveyor system and its role in record-setting rates at the Indianapolis Deep Rock Tunnel Connector. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", S. Francisco, EUA.
295. Lima, J., Skeide, S. (2011). Electronic access monitoring-improving tunneling and mining safety Publication 13-Health and safety. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 61-64, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
296. Minearc (2015). Refuge chambers. Acedido a partir de <http://www.minearc.com> em 10/07/2016.
297. Draeger (2015). Self rescuer. Acedido a partir de <http://www.draeger.com> em 04/06/2015.
298. COTEC Portugal (2016). Indústria 4.0. Acedido a partir de <https://www.industria4-0.cotec.pt/> em 16/08/2017.
299. Bargstädt, H. (2015). Challenges of BIM for Construction Site Operations. *Procedia Engineering*, 117, pp. 52-59. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.123.
300. Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T., Kiviniemi, M. (2010). 4D-BIM for construction safety planning. CIB (ed). CIB: Manchester, Inglaterra.
301. Azhar, S., Behringer, A. (2013). A BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan. Comunicação apresentada em: "49th ASC Annual International Conference Proceedings", Califórnia, EUA.
302. Aguilera, A. (2017). Review of the state of knowledge of the BIM methodology applied to health. *Occupational Safety and Hygiene V. Arezes et al (ed)*, pp. 447-452, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
303. Tender, M., Couto, J., Fernandes, J. (2017). Using BIM for risk management on a construction site. *Occupational Safety and Hygiene V. Arezes et al (ed)*, pp. 269-272, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
304. Jones, S. (2016). *Building a safety culture: improving safety and health management in the construction industry*. Dodge Data and Analytics: Bedford, Inglaterra.
305. Fernandes, J., Tender, M., Couto, J. (2016). Utilização do BIM na gestão de segurança do estaleiro da construção do Túnel do Marão. Comunicação apresentada em: "1º Congresso Português de Building Information Modelling", Guimarães, Portugal.
306. Soeiro, A., Martins, J. (2016). Aplicações recentes no uso de BIM na segurança na construção. Comunicação apresentada em: "1º Congresso Português de Building Information Modelling", Guimarães, Portugal.
307. Rodrigues, M., Arezes, P., Leão, C. (2015). Defining risk acceptance criteria in occupational settings: A case study in the furniture industrial sector. *Safety Science*, 80, pp. 288-295. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.08.007.
308. Levine, E. (2012). Improving risk matrices: the advantages of logarithmically scaled axes. *Journal of Risk Research*, 15, 2, pp. 209-222. DOI: 10.1080/13669877.2011.634514.
309. Marhavalas, P., Koulouriotis, D. (2012). Developing a new alternative risk assessment framework in the work sites by including a stochastic and a deterministic process: A case study for the Greek public electric power provider. *Safety Science*, 50, pp. 448-462. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.10.006.
310. Moergeli, A. (2004). Risk management in tunneling – occupational safety health plans for drill and blast and tunnel boring machines. *North American Tunneling 2004*. Ozdemir et al (ed), pp. Taylor & Francis: Atlanta, EUA.
311. Carvalho, F., Melo, R. (2014). Semi-quantitative approach in risk assessment: inter and intra-rater reliability. Comunicação apresentada em: "5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics", Krakow.
312. Krippendorff, K. (2007). Testing the reliability of content analysis data: What is involved and why. Acedido a partir de <http://web.asc.upenn.edu/usr/krippendorff/dogs.html> em 15/06/2016.
313. Carvalho, F., Melo, R. (2011). Avaliação de riscos: comparação entre vários métodos de avaliação de risco de natureza semi-quantitativa. *Territorium*, 18, pp. 43-54.
314. Nodoushan, R., Kakaei, Z., Rezaei, H., Khodarahmi, F., Kakaei, H., Hajian, N. (2014). Risk assessment of Ilam Gas refinery on the base of William Fine Method in 2012. *Journals of Community Health Research*, 3, 1, pp. 49-58.
315. Dickson, T. (2001). Calculating risks: Fine's mathematical formula 30 years later. *Australian Journal of Outdoor Education*, 6, 1, pp. 31-39.

316. Cabral, F., Veiga, R. (2009). *Higiene, segurança, saúde e prevenção de acidentes de trabalho (32ª Ed.)*. Verlag Dashofer (ed). Verlag Dashofer: Lisboa, Portugal.
317. Resende, S., Silva, V., Lima, H. (2014). Study of non-conventional fuels for explosives mixes. *Revista Escola de Minas*, 67, 3, pp. 297-302. DOI: 10.1590/S0370-44672014000300009
318. Peixoto, A., Sousa, L., Sousa, R., Feng, X., Miranda, T., Martins, F. (2011). Prediction of rockburst based on an accident database. *Harmonising Rock Engineering and the Environment*. Zhou, Q. (ed), pp. 1247-1252, Taylor and Francis: Pequim, China.
319. Herrenknecht (2017). *Tunnelling Boring Machines*. Acedido a partir de <http://www.herrenknecht.com/> em 20/03/2017.
320. Špačková, O. (2012). *Risk management of tunnel construction projects*. Tese de Doutoramento. Faculty of Engineering Praga, República Checa.
321. Mukuka, M., Aigbavboa, C., Thwala, W. (2015). Effects of construction projects schedule overruns: A case of the Gauteng Province, South Africa. *Procedia Manufacturing*, 3, pp. 1690-1695. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.989.
322. Lance, G., Anderson, J. (2006). *Research Report 453-The risk to third parties from bored tunnelling in soft ground*. Health and Safety Executive: Inglaterra.
323. Chi, C., Yang, C., Chen, Z. (2009). In-depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, pp. 635-644. DOI: 10.1016/j.ergon.2007.12.003.
324. Normet (2016/17). Arquivo fotográfico privado.
325. Terratec (2017). Acedido a partir de <http://www.terratec.co> em 12/03/2017.
326. Yang, P., Lin, K., Lin, Y., Jhang, S., Chen, S. (2016). Emission evaluation of a diesel engine generator operating with a proportion of isobutanol as a fuel additive in biodiesel blends. *Applied Thermal Engineering*, 100, pp. 628-635. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.118.
327. Ilyas, S., Khattak, A., Nasir, S., Qurashi, T., Durrani, R. (2010). Air pollution assessment in urban areas and its impact on human health in the City of Quetta, Pakistan. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12, pp. 291-299.
328. Nabi, M., Zare, A., Hossain, F., Rahman, M., Bodisco, T., Ristovski, Z., Brown, R. (2016). Influence of fuel-borne oxygen on European Stationary Cycle: Diesel engine performance and emissions with a special emphasis on particulate and NO emissions. *Energy Conversion and Management*, 127, pp. 187-198. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.09.010.
329. Hasannuddin, A., et al. (2016). Performance, emissions and lubricant oil analysis of diesel engine running on emulsion fuel. *Energy Conversion and Management*, 117, pp. 548-557. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.03.057.
330. Gausen, J. (2013). *Diesel underground, project results and recommendations*. Publication 13-Health and safety. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 51-53, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
331. Sandvik Mining and Construction (2014). *Catalogue Electric LHDs*.
332. Envirosystems (2017). *Tunnelling equipment*. Acedido a partir de <https://www.envirosystemsllc.com/equipment/tunnel-mining> em 20/06/2017.
333. Jiang, H., Du, C., Dong, J. (2017). Investigation of rock cutting dust formation and suppression using water jets during mining. *Powder Technology*, 307, pp. 99-108. DOI: 10.1016/j.powtec.2016.11.029.
334. Metro do Porto (2000/10). Arquivo fotográfico privado.
335. SIKA (2017). Acedido a partir de <http://www.sika.com/> em 06/04/2017.
336. Systemair (2017). *Deduster*. Acedido a partir de <https://www.systemair.com/globalassets/websites/sk/katalogy/systemair-dedusters.pdf> em 20/06/2017.
337. SUVA Pro (2011). *Securité et protection de la santé sur les chantiers souterrains*. SUVA Pro: Suíça.
338. Crossrail (2016). *Good practice information report-Protection of concrete flexi-hoses*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
339. Crossrail (2016). *Good practice information report-Thickness testing of pressure system pipelines*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
340. Hilar, M., Thomas, A., Falkner, L. (2005). The latest innovation in sprayed concrete lining - The Lasershell Method *Ročník 14*, pp. 14-19.
341. *Beton und Monierbau (2009)*. 1964 to 2007: more than 40 years of innovation, milestones in tunnelling.

342. Crossrail (2013). *Best practice guide SCL Exclusion zone management*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
343. Ahuja, V., Jones, B. (2016). *Non-destructive Approach for Shotcrete Lining Strength Monitoring*. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress", S. Francisco, EUA.
344. Traldi, D. (2015). *Spray applied waterproofing membrane*. Comunicação apresentada em: "4º Seminário da Comissão Portuguesa de Túneis", Porto, Portugal.
345. Martins, J., Magalhães, A., Vaz, M., Pinho, M. (2013). *Prevenção de quedas e resistência ao escorregamento dos pavimentos pedonais-breve revisão*. *International Symposium on Occupational Safety and Hygiene-Proceedings book*. Arezes et al (ed), pp. 229-230, SPOSHO: Guimarães, Portugal.
346. Girmscheid, G., Schexnayder, C. (2003). *Tunnel Boring Machines*. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 3, pp. 150-163.
347. Brand, H. (2003). *Sécurité et protection de la santé sur les chantiers souterrains*. SUVA Pro: Lucerna, Suíça.
348. Crossrail (2016). *Good practice information report-Magnetic LED lights* Acedido a partir de <http://learninglegacy.crossrail.co.uk/learning-legacy-themes/health-and-safety/> em 21/04/2017.
349. Luís, R. (2015). Arquivo fotográfico privado.
350. Godwin, A., Schwabe, N. (2016). *Using a case study fatality to depict the limits of proximity detection systems for articulating, underground machinery*. *Safety Science*, 87, pp. 47-52. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.02.024.
351. Blaxtair (2017). *Proximity warning systems*. Acedido a partir de <https://blaxtair.com/> em 02/04/2017.
352. Belloli, A., Santarelli, S. (2013). *Ceneri Base Tunnel - Combining Flexibility and Productivity by substantial Mechanization of the main conventional Headings*. Comunicação apresentada em: "World Tunnel Congress 2013", Genebra, Suíça.
353. Matos, L., Coelho, A., Baptista, J., Costa, P. (2016). *Relationship between production cycles and noise patterns in loading and transport operations in quarries*. *Occupational Safety and Hygiene IV*. Arezes et al (ed), pp. 473-478, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
354. Crossrail (2015). *Good practice information report-Channels of communication designed into airflow helmet*. Crossrail: Londres, Inglaterra.
355. Reatec (2016). Acedido a partir de <http://www.reactec.com/userfiles/files/HAVWEAR%202016.pdf> em 20/08/2017.
356. Costa, E., Baptista, J., Carvalho, J. (2014). *Evolution of skin temperature at different temperature and humidity conditions*. *Occupational Safety and Hygiene II*. Arezes et al (ed), pp. CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
357. Ferrovial Laing O' Rourke Joint Venture (2016). *NLE Fatigue Management*. Londres, Inglaterra.
358. Eriksen, H. (2013). *Fires and explosions - causes, effects and prevention*. Publication 13. Norwegian Tunnelling Society (ed), pp. 19-22, Norwegian Tunnelling Society: Oslo, Noruega.
359. Cardu, M., Giraudi, A., Oreste, P. (2013). *A review of the benefits of electronic detonators*. *Revista Escola de Minas*, 66, 3, pp. 375-382. DOI: 10.1590/S0370-44672013000300016.
360. Instituto Português da Qualidade (2015). *NP 2074:2015-Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas*. Instituto Português da Qualidade: Lisboa, Portugal.
361. Fu, H., Wong, L., Zhao, Y., Shen, Z., Zhang, C., Li, Y. (2014). *Comparison of excavation damage zones resulting from blasting with Nonel detonators and blasting with electronic detonators*. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, pp. 809-816. DOI: 10.1007/s00603-013-0419-2.
362. Verma, H., Dwivedi, R., Roy, P., Singh, P. (2016). *Causes, impact and control of overbreak in underground excavations*. Comunicação apresentada em: "Recent Advances in Rock Engineering", Bengaluru, Índia.
363. Banda, R., Rhodes, N. (2005). *Electronic delay detonators—a unique solution to pertinent mining problems*. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105, pp. 615-618.
364. Kara, S., Adamson, W., Reisz, W., Trousselle, R. (2014). *The latest generation of the electronic system enhanced safety and productivity*. *Procedia Engineering*, 83, pp. 432-440. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.09.052.
365. Moubarak, S., Girault, B., Lamont, D., Camus, T. (2014). *Automated replacement of TBMs cutting tools*. Comunicação apresentada em: "2nd Eastern European Tunnelling Conference", Atenas, Grécia.

366. Camus, T., Manacorda, G. (2015). *European Project NeTTUN – Making it happen. SEE Tunnel: promoting tunnelling in SEE Region*. Kolic, D. (ed), pp. 296-297, Hubtig: Dubrovnik, Croácia.
367. Harmsworth, S., Turpin, S., TQEF National Co-ordination Team (2000). *Creating an effective dissemination strategy: an expanded interactive workbook for educational development projects*. TQEF National Co-ordination Team, pp. 1-33.
368. Cassidy-Welch, M. (2009). *Prison and sacrament in the cult of saints: images of St Barbara in late medieval art*. *Journal of Medieval History*, 35, pp. 371-384. DOI: 10.1016/j.jmedhist.2009.08.003.

ANEXOS

Anexo 1 - Mapas de avaliação de risco e fatores ocupacionais

SIGL	EXP	ELEC		DIES		QUIM		INC		POEI		RUTR		BLOC		CLPS		QUED		MUSC		ATRP		BIOL																												
		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC		MEC																										
ML	8	F1	450		450		150		30		7,5		90		900		3000		900		540		900		225		1500		225		750		135		750		450		270		135		1500		900		135		135			
		F2	900	2	135	2	150	1	15	1	15	2	15	2	90	1	750	1	450	2	270	2	540	2	135	2	1500	2	135	2	750	2	135	1	750	2	270	2	900	2	540	2	1500	2	135	2	30	2	10	2		
		F3	1500		15		30		15		450		45		90		450		270		45		900		225		50		90		150		15		750		135		900		540		150		6		10					
		Tt	2850		600		330		60		473		150		###		4200		1620		855		2340		585		3050		450		1650		285		2250		855		2070		1215		3150		1080		171		155			
		M1		2				2																																												
M2																																																				
NT	7	F1	10		2,5		15		15		0,3		0,3		13		13		90		90		2,5		15		225		1,3		250		225		750		10		15		5		450		450		13		13			
		F2	5	1	1	2,5	1	15	0	5	0	18	0	6	2	13	0	13	0	150	0	150	1	90	0	30	1	150	2	50	1	250	0	75	0	750	0	1	1	45	0	5	0	450	0	450	0	13	1	13	1	
		F3	30		2,5		15		15		0,5		0,1		25		13		60		90		90		15		2,5		1,3		150		75		750		50		270		5		450		450		13		13			
		Tt	45		7,5		45		35		19		6,3		50		38		300		330		183		60		378		53		650		375		2250		810		330		15		1350		1350		38		38			
		M1		2				1				1				1				1				1				2				2				2				2				1				1				
M2																																																				
VF	5	F1	90		150		300	0	15	0	45		45		45		10		500		300		5000		180		450		225		50		750		250		10		1		250		250		7,5		7,5					
		F2	15	2	0,3	2	450	2	150		300	0	300	0	10	0	10	0	500	1	300	1	900	2	900	2	450	2	225	2	25	2	13	2	1500	0	1500	0	5	0	5	0	250	1	125	1	15	1	15	1		
		F3	250		25		15		300		300		3		1		150		300		225		150		225		45		30		13		1500		1500		270		270		75		75		15		15					
		Tt	355		175		765		180		645		645		78		21		1300		750		6125		1230		945		480		88		69		3750		3250		285		276		575		450		38		38			
		M1		2				1				1				2				2				1				1				2				1				1				2				1				
M2																																																				
CC	5	F1	9		90		270		135		45		45		900		600		540		270		45		45		1500		225		750		150		150		150		300		750		450		25		25					
		F2	90	2	150	2	270	1	135	1	180	2	90	2	300	1	100	1	450	2	450	2	900	1	900	1	1500	2	270	2	250	2	270	2	30	2	90	2	50	2	150	2	750	1	750	1	25	2	25	2		
		F3	270		450		270		135		90		45		1800		450		135		135		540		540		30		135		250		270		1500		1500		150		150		750		750		25		25			
		Tt	369		690		810		405		315		180		3000		1150		1125		855		1485		1485		3030		630		1250		690		1680		1740		350		600		2250		1950		75		75			
		M1		2				2				1				2				2				2				2				2				2				2				2				2				
M2																																																				
AG	15	F1	45		90		10		150		90		90		300		300		30		30		750		750		450		0,1		300		50		300		300		30		30		1500		450		13		13			
		F2	180	2	150	2	3	0	150	0	150	1	150	1	300	0	300	0	30	0	30	0	750	2	750	2	450	2	0,1	2	300	2	50	2	300	2	300	2	30	1	30	1	1500	1	450	1	13	2	13	2		
		F3	150		150		30		150		150		150		300		300		10		30		750		750		45		0,1		300		50		300		300		30		300		30		1500		450		13		13	
		Tt	375		390		43		330		390		390		900		900		70		90		2250		2250		945		0,2		900		150		900		900		90		90		3750		1350		38		38			
		M1		2				2				0				2				2				1				1				2				2				2				2				1				
M2																																																				
JB	5	F1	90		2,5		250		150		30		0,3		270		45		30		0,8		45		5		225		1,3		150		1,3		150		0,8		0,3		0,1		150		25		0,8		0,8			
		F2	30	2	1,3	1	450	0	23	0	30	1	0,8	0	270	0	9	0	270	0	7,5	0	30	0	0,3	0	75	2	1,3	1	1,3	2	1,3	0	45	0	0,8	0	0,1	0	0,3	0	1,3	0	0,8	0	0,8	0				
		F3	30		30		0		45		540		3,8		75		3		1,3		0,8		0,3		0,3		6,25		1,3		1,3		1,3		30		0,8		10		0,8		25		13		0,8		0,8			
		Tt	150		34		700		218		600		4,8		615		57		301		9		75		5,5		306		3,8		153		3,8		225		2,3		10		1,1		176		39		2,3		2,3			
		M1		2				2				2				2				2				2				2				1				2				1				0				2				
M2																																																				
FM	5	F1	270		90		5		0,5		5		0,5		6		45		36		1,3		270		2,5		180		6,3		450		0,8		450		7,5		10		0,5		225		225		15		7,5			
		F2	60	1	45	0	3	0	0,5	1	45	0	15	1	0,3	0	45	1	90	1	10	0	45	0	5	0	135	1	13	1	75	1	13	1	450	1	7,5	1	135	2	15	0	1	0	225	1	225	2				
		F3	45		90		9		15		135		30		3		30		2,5		2,5		15		2,5		15		7,5		13		75		135		15		7,5		5		270		225		5		3,8			
		Tt	375		225		17		16		185		46		9,3		120		129		14		330		10		323		31		600		23		720		30		30		1,6		720		675		28		12			
		M1		2				2				2				2				2				2				2				1				1				1				1				1				
M2		1				1																																														
JA	12	F1	225		150		90		0,5		1		0,5		300	</																																				

SIGL	EXP	ELEC		DIES		QUIM		INC		POEI		RUTR		BLOC		CLPS		QUED		MUSC		ATRP		BIOL			
		MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET		
TF	7	F1	30	10	10	5	0,5	0,1	0,3	0,3	10	0,2	1,3	45	750	6	15	1	150	30	5	0,3	90	30	0,1	0,1	
		F2	30	10	10	5	0,5	0,1	0,3	0,3	10	0,2	1,3	45	450	6	15	1	150	30	5	0,3	90	30	0,1	0,1	
		F3	15	10	10	5	0,5	0,1	0,3	0,3	10	0,2	1,3	45	50	2	1,5	1	50	30	5	0,3	15	30	0,1	0,1	
		Tr	75	30	30	15	96	0,2	0,8	0,8	0,8	20	0,5	8,8	63	1250	14	32	3	350	90	15	0,9	150	90	0,3	0,3
		M1		2		2		2		1		2		2		1		2		1		2		2		1	
M2				1				2		2		2		2		2		2		1		1					
AV	25	F1	2500	540	500	9	180	3	300	18	300	9	180	9	6000	225	1800	225	3000	270	90	6	180	2	180	9	
		F2	180	45	180	9	500	3	180	9	180	9	500	9	1800	135	900	135	900	135	180	3	150	2	180	9	
		F3	9	3	180	1	300	3	36	9	180	2	180	9	1800	45	1500	90	1800	135	180	3	540	1	36	2	
		Tr	2689	588	860	19	980	9	516	36	660	20	860	27	9600	405	4200	450	5700	540	450	12	870	5	396	20	
		M1		2		2		1		2		2		1		1		2		1		2		2		1	
M2				2			1		2		2		2		2		2		2		1		2				
NP	27	F1	50	25	30	30	0,3	0,3	0,1	0,1	90	0,8	1	1	225	13	7,5	7,6	0,3	0,3	30	30	15	0,1	30	15	
		F2	0,75	0,8	30	30	0,5	0,1	0,1	0,1	90	0,8	10	5	225	225	7,5	7,5	5	0,3	30	30	2,5	0,1	0,1	0,1	
		F3	0,75	0,8	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,8	0,8	2,5	2,5	1,25	13	7,5	7,5	5	0,3	30	30	0,1	0,1	0,1	0,1	
		Tr	51,5	27	60	60	1	0,4	0,2	0,2	181	92	14	8,5	451	250	23	23	10	0,8	90	90	18	2,6	30	15	
		M1		2		2		2		2		2		2		0		2		1		2		1		2	
M2				2			2		1		2		2		2		2		1		2		2				
CG	14	F1	30	10	10	10	0,1	0,1	1,3	0,3	30	1	0,1	9	750	9	10	0,1	150	90	6	0,3	30	15	0,1	0,1	
		F2	30	10	6	6	0,9	0,6	1,3	0,3	18	18	45	45	270	270	10	10	150	30	3	0,3	1,5	0,3	0,1	0,1	
		F3	15	10	3	3	1,5	1,5	1,3	0,3	1,5	1,5	0,1	0,1	1,25	1,3	10	15	30	30	9	9	0,2	0,2	0,1	0,1	
		Tr	75	30	19	19	92	2,2	3,8	0,8	0,8	50	21	45	54	1021	280	30	25	330	150	18	9,6	32	16	0,2	0,3
		M1		2		2		1		1		2		1		1		1		1		2		2		0	
M2				2			2		1		2		2		2		2		2		1		1				
RP	28	F1	90	25	60	3	0,3	0,3	9	45	270	45	1,5	7,5	270	30	90	45	15	5	15	10	15	1	3	3	
		F2	15	15	3	3	15	15	3	3	6	6	45	45	135	135	23	23	15	15	10	10	1	1	3	3	
		F3	30	45	0,5	1	0,5	0,1	9	3	1	0,1	1,3	6,3	30	7,5	45	15	15	5	10	5	10	0,5	1,5	1,5	
		Tr	135	85	64	7	16	15	21	51	277	51	48	59	435	173	158	83	45	25	35	25	17	2,5	7,5	7,5	
		M1		2		2		1		1		1		1		1		2		1		2		2		1	
M2				1			2		2		2		2		2		2		2		1		1				
JA	3	F1	25	25	25	30	15	3	7,5	5	50	6	15	15	30	5	6	2	2	2	2	2	30	15	1	1	
		F2	6,25	6,3	25	30	30	3	5	5	30	5	30	15	30	5	6	2	2	2	2	2	30	15	1	1	
		F3	6,25	6,3	25	30	10	3	5	5	30	5	15	15	30	5	3	2	2	2	2	2	30	15	1	1	
		Tr	37,5	38	75	90	55	9	18	15	110	16	60	45	90	15	15	6	6	6	6	6	90	45	3	3	
		M1		1		0		2		1		2		1		1		1		1		1		1		1	
M2				2			1		2		2		2		1		2		2		1		1				
PP	8	F1	3,75	3,8	30	15	15	15	15	15	45	15	60	90	180	90	60	60	60	60	60	60	60	60	0,1	0,1	
		F2	0,75	0,8	15	15	15	15	7,5	7,5	15	15	60	60	180	180	60	10	60	60	60	60	60	60	0,1	0,1	
		F3	0,75	0,8	15	15	5	1,3	15	7,5	1,3	0,3	15	45	12,5	6,3	60	5	180	15	60	15	180	15	0,1	0,1	
		Tr	5,25	5,3	60	45	35	31	38	30	61	30	135	195	373	276	180	75	300	135	180	135	300	135	0,2	0,2	
		M1		1		1		2		1		2		1		0		1		1		1		1		0	
M2				2			2		1		2		1		1		2		2		1		2				
MO	25	F1	75	75	90	90	0,3	0,3	25	25	90	90	135	135	450	75	30	30	13	225	90	135	135	135	5	5	
		F2	75	75	90	90	135	135	25	25	90	90	90	90	270	270	2	2	5	5	30	30	30	30	5	5	
		F3	75	75	45	45	10	15	25	25	15	15	90	30	2,5	2,5	90	1,5	135	45	90	270	135	135	5	5	
		Tr	225	225	225	225	145	150	75	75	195	195	315	255	723	348	122	34	153	275	210	435	300	300	15	15	
		M1		1		2		1		1		2		1		1		2		1		1		2		2	
M2				1			2		1		2		2		0		2		2		1		2				
CM	30	F1	45	3	3	1	6	1	0,3	0,1	45	2	3	1	450	90	3	0,5	1	0,3	9	3	45	45	0,1	0,1	
		F2	9	2	2	0,5	90	30	0,3	0,1	45	2	60	6	270	30	3	0,5	1	0,3	9	3	7,5	7,5	0,1	0,1	
		F3	3	0,5	0,5	0	60	15	1	0,1	0,3	0,1	6	1	2,5	0,5	3	0,5	15	0,5	180	9	23	7,5	0,1	0,1	
		Tr	57	5,5	5,5	1,5	156	46	1,5	0,2	90	4,1	69	8	723	121	9	1,5	17	1	198	15	75	60	0,2	0,2	
		M1		0		0		0		1		2		2		1		1		2		2		1		1	
M2				0			1		2		2		2		2		1		2		2		2				
SA	7	F1	25	75	30	18	30	30	10	10	300	0	30	180	150	150	270	135	90	30	90	90	45	45	45	45	
		F2	225	75	18	18	90	30	10	10	180	180	90	180	150	150	270	135	30	30	180	90	45	30	45	45	
		F3	75	75	18	18	90	30	10	10	180	180	90	180	75	75	270	135	30	30	180	90	45	30	45	45	
		Tr	325	225	66	54	210	90	30	30	660	360	210	540	375	375	810	405	150	90	450	270	135	105	135	135	
		M1		1		2		1		1		1		1		0		1		1		1		1		1	
M2				1			2		1		2		2		2		2		1		1		1				

SIGL	EXP	ELEC		DIES		QUIM		INC		POEI		RUTR		BLOC		CLPS		QUED		MUSC		ATRP		BIOL			
		MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET		
TM	8	F1	5	10	30	30	0,3	0,3	0,3	0,3	135	135	15	5	225	50	30	30	5	5	15	15	75	75	0,1	0,1	
		F2	0,5	0,5	45	45	0,3	0,3	0,3	0,3	270	135	15	5	225	50	5	5	5	5	2,5	2,5	30	30	0,1	0,1	
		F3	0,5	0,5	45	45	0,3	0,3	0,3	0,3	10	10	15	5	30	30	30	30	15	15	10	45	75	30	0,1	0,1	
		Tt	6	11	120	120	90	90	0,8	0,8	415	280	45	15	480	130	65	65	25	25	28	63	180	135	0,2	0,2	
		M1		1		1		1		1		1		0		1		1		0		1		1			0
		M2				2				1		1		1		2		1		1		1		2			
CE	17	F1	30	1,3	10	1,3	0,8	0,1	10	2,5	1800	225	2,5	2,5	5000	150	135	15	45	5	450	150	225	50	15	5	
		F2	2,5	1,3	2,5	1,3	0,8	0,1	2,5	0,3	450	90	15	15	3000	150	135	15	30	5	10	2,5	50	6,3	2,5	2,5	
		F3	0,5	1,3	0,1	1,3	0,8	0,1	30	1,3	15	1,3	15	15	90	7,5	270	15	15	5	90	15	50	6,3	1,3	1,3	
		Tt	33	3,8	13	3,8	2,3	0,2	43	4	2265	316	33	33	8090	308	540	45	90	15	550	168	325	63	19	8,8	
		M1		1		2		2		2		2		1		0		1		1		1		2			2
		M2				1				2		2		1		2		2		1		1		1			
BP	2	F1	750	750	450	450	90	90	30	30	5	0,5	15	50	1500	1500	900	540	900	900	150	150	1500	450	5	5	
		F2	750	750	450	450	135	90	30	30	5	0,5	300	300	1500	1500	900	540	900	900	150	150	1500	450	5	5	
		F3	750	750	270	450	270	90	30	30	0,3	0,5	300	300	225	450	900	540	900	900	150	150	1500	450	5	5	
		Tt	2250	2250	1170	1350	495	270	90	90	10	1,5	615	650	3225	3450	2700	1620	2700	2700	450	450	4500	1350	15	15	
		M1		2		1		0		1		1		1		1		1		2		1		2			1
		M2				1				2		2		1		1		2		2		2		1			
JA	6	F1	750	750	450	450	7,5	2,5	300	150	300	300	270	180	3000	1800	900	450	90	38	300	180	900	450	75	75	
		F2	750	750	450	450	15	5	150	150	180	180	270	270	3000	3000	900	225	38	13	300	180	225	225	75	75	
		F3	750	750	270	270	45	45	50	50	45	45	225	225	50	50	150	150	50	25	300	300	225	225	75	75	
		Tt	2250	2250	1170	1170	68	53	500	350	525	525	765	675	6050	4850	1950	825	178	75	900	660	1350	900	225	225	
		M1		2		2		0		1		2		2		1		1		2		0		0			0
		M2				2				2		1		1		2		1		1		0		0			
RS	3	F1	450	750	180	150	1,3	1,3	900	1500	36	60	270	450	900	750	270	450	180	150	540	450	900	###	90	150	
		F2	450	750	90	150	1,3	1,3	900	1500	36	60	270	450	900	750	270	450	180	150	540	450	150	250	15	25	
		F3	450	750	90	150	45	23	900	1500	18	30	270	450	150	750	450	450	180	150	540	450	150	250	15	25	
		Tt	1350	2250	360	450	48	25	2700	4500	90	150	810	1350	1950	2250	990	1350	450	450	1620	1350	1200	2000	120	200	
		M1		2		2		2		1		2		1		1		2		1		2		2			1
		M2				2				2		1		2		2		2		2		2		2			
CB	20	F1	45	450	900	250	0,8	450	30	500	270	450	270	450	450	250	150	250	30	150	6	5	450	250	270	450	
		F2	15	50	450	250	270	450	75	125	270	450	270	450	900	1500	450	250	450	150	540	900	450	25	45	75	
		F3	45	50	450	250	270	0,8	450	50	45	150	270	450	75	125	300	750	450	750	540	900	450	25	9	15	
		Tt	105	550	1800	750	541	901	555	675	585	1050	810	1350	1425	1875	900	1250	930	1650	1086	1805	1350	300	324	540	
		M1		2		1		1		2		2		1		1		2		1		1		2			1
		M2				2				1		1		2		2		2		1		1		1			
PC	9	F1	150	250	540	450	75	75	900	300	270	150	270	150	900	250	300	250	45	30	30	50	450	250	25	25	
		F2	150	150	90	150	90	150	300	300	270	270	270	150	150	250	90	150	90	90	90	90	150	450	150	25	
		F3	450	250	45	150	90	30	300	100	30	15	270	150	25	50	300	250	90	15	90	150	450	250	25	25	
		Tt	750	650	675	750	255	255	1500	700	570	435	810	450	1075	550	690	650	225	135	210	350	###	650	75	75	
		M1		1		2		1		1		1		0		1		1		1		2		1			1
		M2				1				1		1		1		1		0		1		1		2			
LC	5	F1	150	50	###	900	90	45	300	300	180	45	135	45	750	225	225	50	90	15	45	1	450	150	1,3	1,3	
		F2	225	13	270	135	90	15	450	450	150	90	270	45	750	225	225	50	45	225	10	45	1	450	150	1,3	
		F3	450	50	135	135	90	15	900	450	90	90	270	45	750	225	150	50	45	10	45	1	450	150	0,3	0,3	
		Tt	825	113	2205	1170	270	75	1650	1200	420	225	675	135	2250	675	600	150	180	35	135	3	1350	450	2,8	2,8	
		M1		1		2		2		1		2		1		2		2		2		2		2			2
		M2				1				2		1		2		1		1		1		1		1			
MC	15	F1	30	750	300	500	90	90	30	25	36	60	18	30	450	750	270	450	15	50	90	50	450	250	90	150	
		F2	15	15	300	90	270	135	30	7,5	36	9	18	3	450	225	90	45	90	90	90	90	270	23	45	23	
		F3	7,5	30	180	180	45	90	7,5	15	3	6	3	6	22,5	45	150	300	135	90	45	90	45	90	4,5	9	
		Tt	52,5	795	780	770	405	315	68	48	75	75	39	39	923	1020	510	795	240	230	225	230	765	363	140	182	
		M1		2		2		2		1		1		2		1		2		2		2		2			1
		M2				2				2		2		2		2		2		2		2		2			
AN	10	F1	18	1	150	150	0,5	0,1	15	2	180	90	30	30	1500	150	900	135	0,3	0,3	15	5	2500	135	5	5	
		F2	90	1	1	1	180	45	1,3	1,3	300	90	450	225	90	135	1500	450	900	135	15	90	5	90	5	5	
		F3	30	1	1	0,1	30	5	15	7,5	9	30	225	150	50	30	300	100	900	135	45	45	90	30	5	5	
		Tt	138	3	152	151	211	50	31	11	489	210	705	405	1640	315	2700	685	1800	270	75	55	2680	170	15	15	
		M1		2		1																					

	ELEC	DIES	QUIM	INCN	POEI	RUTR	BLOC	CLPS	QUED	PMES	ATRP	BIOL												
ANÁLISE DISPERSÃO Nr																								
Nr (MEC+ME)	63,3%	63,3%	76,7%	46,7%	76,7%	53,3%	83,3%	83,3%	73,3%	66,7%	90,0%	23,3%												
Nr (MEC-ME)	20,0%	20,0%	13,3%	33,3%	10,0%	16,7%	3,3%	3,3%	16,7%	13,3%	6,7%	63,3%												
Nr (MEC+ME)	16,7%	16,7%	10,0%	20,0%	13,3%	30,0%	13,3%	13,3%	10,0%	20,0%	3,3%	13,3%												
ANÁLISE Nr POR MÉTODO																								
Nr	MEC	195	147	80	162	170	242	607	278	319	132	372	30											
	MET	147	97	45	170	81	156	222	131	177	103	187	29											
	Méd	171	122	63	166	126	199	415	205	248	117	279	30											
ANÁLISE Nr POR FASES																								
1F Med	220	191	228	138	29	36	188	242	265	102	306	122	1009	245	333	155	315	124	104	69	495	245	44	47
2F Med	164	117	133	83	104	65	117	140	194	106	236	195	679	347	277	109	261	192	131	108	315	148	28	22
3F Med	202	131	79	70	108	35	181	128	51	35	184	150	134	75	225	131	382	215	162	131	305	167	19	19
ANÁLISE Ir POR MÉTODO E POR CENÁRIO																								
Cx MEC	1,7	1,4	1,0	0,3	0,6	0,3	0,3	0,5	0,6	0,6	0,3	0,6	1,7	1,3	1,5	1,2	1,4	0,6	0,8	0,8	0,5	0,6	1,7	0,5
Cx MET				0,3	0,6	0,3	0,3	0,5	0,6	0,6	0,3	0,6	1,7	1,3	1,5	1,2	1,4	0,6	0,8	0,8	0,5	0,6	1,7	0,5
ANÁLISE Rr																								
M1	1,57	1,60	1,17	1,23	1,60	1,20	1,10	1,43	1,30	1,47	1,47	1,10												
M2		1,43		1,60	1,47	1,57	1,57	1,43	1,47	1,07	1,50													

SIGL	EXP	FASE	RUID		VIBR		TEMP		STRS	
			MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET
ML	8	F1	2	2	2	1	2	2	2	2
		F2	0	0	0	0	1	1	1	1
		F3	2	2	1	0	2	1	2	1
		Tt	4	4	3	1	5	4	5	4
		M1	2		2		1		1	
		M2	1		1					
NT	7	F1	2	1	0	0	1	1	2	1
		F2	2	1	1	0	1	1	2	1
		F3	1	0	1	0	1	1	1	1
		Tt	5	2	2	0	3	3	5	3
		M1	0		1		1		1	
		M2	1		1					
VN	5	F1	2	1	1	1	1	1	2	1
		F2	1	1	0	0	0	0	1	1
		F3	0	0	0	0	0	0	1	1
		Tt	3	2	1	1	1	1	4	3
		M1	1		2		2		2	
		M2	2		2					
CC	5	F1	0							
		F2	0							
		F3	0							
		Tt	0	0	0	0	0	0	0	0
		M1								
		M2								
AG	15	F1	1	2	1	2	1	2	1	2
		F2	1	2	1	2	1	2	1	2
		F3	1	2	1	2	1	2	1	2
		Tt	3	6	3	6	3	6	3	6
		M1	2		2		2		2	
		M2	2		2					
JB	5	F1	2	0	2	0	2	1	2	0
		F2	2	0	0	0	1	1	2	0
		F3	0	0	0	0	0	0	2	0
		Tt	4	0	2	0	3	2	6	0
		M1	2		2		2		2	
		M2	0		0					
FM	5	F1	2	0	1	0	1	0	1	2
		F2	1	0	1	0	1	0	1	2
		F3	1	0	1	0	1	0	1	2
		Tt	4	0	3	0	3	0	3	6
		M1	2		1		1		1	
		M2	2		0					
JA	12	F1	2	2	2	1	1	0	0	0
		F2	1	0	1	0	1	0	0	0
		F3	1	0	1	0	1	0	0	0
		Tt	4	2	4	1	3	0	0	0
		M1	2		2		1		2	
		M2	1		1					
VR	5	F1	2	2	2	2	2	2	2	2
		F2	2	2	2	2	2	2	2	2
		F3	2	2	2	2	2	2	2	2
		Tt	6	6	6	6	6	6	6	6
		M1	1		2		2		1	
		M2	2		1					
JQ	6	F1	2	0	2	1	1	0	1	1
		F2	2	2	1	1	1	1	1	1
		F3	1	1	0	0	1	1	1	1
		Tt	5	3	3	2	3	2	3	3
		M1	1		1		1		1	
		M2	1		0					

SIGL	EXP	FASE	RUID		VIBR		TEMP		STRS	
			MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET
TF	7	F1	1	2	1	2	1	1	2	0
		F2	1	1	2	1	1	1	1	1
		F3	0	0	1	1	0	0	1	1
		Tt	2	3	4	4	2	2	4	2
		M1	0		2		1		0	
		M2	2		0					
AV	25	F1	2	1	2	1	1	1	1	0
		F2	2	1	1	1	2	1	1	1
		F3	1	0	2	1	1	0	2	0
		Tt	5	2	5	3	4	2	4	1
		M1	2		2		2		1	
		M2	1		1					
NP	27	F1	2	2	0	1	0	2	2	0
		F2	1	1	0	0	0	0	2	2
		F3	0	0	0	0	0	0	1	1
		Tt	3	3	0	1	0	2	5	3
		M1	2		1		1		1	
		M2	1		1					
CG	14	F1	2	2	2	1	1	0	1	0
		F2	2	1	1	1	1	1	1	1
		F3	1	0	1	0	0	0	1	0
		Tt	5	3	4	2	2	1	3	1
		M1	1		2		1		0	
		M2	1		0					
RP	28	F1	2	1	1	0	0	0	1	1
		F2	1	1	0	0	0	0	0	0
		F3	0	0	0	0	0	0	0	0
		Tt	3	2	1	0	0	0	1	1
		M1	1		2		0		0	
		M2	0		1					
JA	3	F1	2	2	2	2	2	1	1	1
		F2	2	1	2	1	2	1	1	1
		F3	1	1	2	1	1	1	1	0
		Tt	5	4	6	4	5	3	3	2
		M1	2		2		1		1	
		M2	2		1					
PP	8	F1	2	1	1	1	2	1	1	1
		F2	2	1	1	1	1	1	1	1
		F3	1	0	1	0	1	0	1	0
		Tt	5	2	3	2	4	2	3	2
		M1	2		1		0		2	
		M2	0		1					
MO	25	F1	2	2	2	1	1	2	2	1
		F2	1	1	1	1	0	0	1	1
		F3	2	0	2	2	1	1	1	2
		Tt	5	3	5	4	2	3	4	4
		M1	2		1		2		2	
		M2	1		0					
CM	30	F1	2	2	1	1	1	1	1	1
		F2	0	0	1	1	1	1	1	1
		F3	1	1	1	1	1	1	1	1
		Tt	3	3	3	3	3	3	3	3
		M1	2		2		2		1	
		M2	1		1					
SA	7	F1	1	0	1	0	0	0	1	1
		F2	0	0	0	0	0	0	1	1
		F3	0	0	0	0	0	0	0	0
		Tt	1	0	1	0	0	0	2	2
		M1	2		0		1		1	
		M2	1		1					

SIGL	EXP	FASE	RUID		VIBR		TEMP		STRS	
			MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET	MEC	MET
TM	8	F1	2	1	2	1	1	1	1	1
		F2	1	0	1	1	1	1	1	1
		F3	0	1	0	0	1	1	1	1
		Tt	3	2	3	2	3	3	3	3
		M1	2		1		1		1	
		M2	1		0					
CE	17	F1	2	1	2	1	2	1	1	1
		F2	1	1	0	0	1	1	1	1
		F3	0	0	0	0	1	1	0	0
		Tt	3	2	2	1	4	3	2	2
		M1	2		2		1		1	
		M2	2		2					
BP	2	F1	2	2	2	1	0	0	1	1
		F2	1	1	2	1	0	0	1	1
		F3	0	0	1	1	0	0	1	1
		Tt	3	3	5	3	0	0	3	3
		M1	1		1		0		1	
		M2	1		1					
JA	6	F1	2	2	2	1	1	1	0	0
		F2	1	1	1	1	1	1	0	0
		F3	0	0	0	0	1	1	0	0
		Tt	3	3	3	2	3	3	0	0
		M1	2		1		1		0	
		M2	1		1					
RS	3	F1	2	2	2	1	1	2	1	1
		F2	1	1	1	1	1	2	1	1
		F3	1	1	2	0	1	1	1	1
		Tt	4	4	5	2	3	5	3	3
		M1	2		2		1		2	
		M2	1		2					
CB	20	F1	2	1	2	2	2	2	2	2
		F2	2	1	2	1	1	1	1	1
		F3	1	1	1	1	0	0	2	2
		Tt	5	3	5	4	3	3	5	5
		M1	2		2		1		1	
		M2	1		1					
PC	9	F1	2	2	2	1	2	2	2	2
		F2	2	2	1	1	2	2	1	1
		F3	2	2	2	1	1	2	1	1
		Tt	6	6	5	3	5	6	4	4
		M1	1		0		0		1	
		M2	0		0					
LC	5	F1	2	2	2	1	2	1	1	2
		F2	1	1	2	1	1	1	1	2
		F3	1	1	2	1	1	1	1	2
		Tt	4	4	6	3	4	3	3	6
		M1	1		2		1		2	
		M2	2		1					
MC	15	F1	2	1	2	2	1	1	1	1
		F2	2	2	2	1	1	1	1	1
		F3	4	3	4	3	2	2	2	2
		Tt	0	1	0	0	1	1	1	2
		M1	2		2		1		1	
		M2	1		1					
AN	10	F1	2	2	2	1	1	2	2	1
		F2	0	0	0	0	1	0	0	0
		F3	1	1	1	0	1	2	2	1
		Tt	3	3	3	1	3	4	4	2
		M1	2		2		1		0	
		M2	2		1					

		RUID	VIBR	TEMP	STRS			
ANÁLISE DISPERSÃO Pr								
Pr	(MEC>MET)	53,3%	76,7%	36,7%	36,7%			
Pr	(MEC=MET)	36,7%	16,7%	43,3%	50,0%			
Pr	(MEC<MET)	10,0%	6,7%	20,0%	13,3%			
ANÁLISE Pr POR MÉTODO								
Pr	MEC	1,26	1,11	0,92	1,08			
	MET	0,93	0,71	0,83	0,93			
	Med	1,09	0,91	0,88	1,01			
ANÁLISE Pr POR FASES								
1F-Med	1,8	1,4	1,5	1,0	1,1	1,0	1,3	1,0
2F-Med	1,2	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	1,0	1,0
3F-Med	0,7	0,6	0,9	0,5	0,7	0,7	1,0	0,9
ANÁLISE Rr								
Rr	M1	1,53	1,50	1,07	1,07			
	M2	1,13	0,83					