



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Hugo Ricardo Pires Veloso

Análise estratégica e melhoria de um sistema logístico de carga/descarga, recorrendo à simulação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Hugo Ricardo Pires Veloso

Análise estratégica e melhoria de um sistema logístico de carga/descarga, recorrendo à simulação

Tese de Mestrado
Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Guilherme Augusto Borges Pereira
Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO, APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 31/10/2017

Assinatura: 

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o apoio que me deram desde sempre. Sem eles, nada disto era possível.

Agradeço também à minha irmã e à Margarida pelo carinho e paciência que demonstram em qualquer situação. São duas peças fundamentais na minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos que marcam cada dia da minha vida, com especial atenção aos mais próximos. Com o risco de me esquecer de algum, não cito nomes, mas eles sabem quem são.

Agradeço ao professor Luís Dias pela oportunidade de integrar o projeto e ao professor Guilherme, que em qualquer situação esteve sempre preparado para prestar apoio. No mesmo sentido, não posso deixar de agradecer a todos os elementos que me ajudaram, com especial atenção ao António Vieira, ao Marcelo e ao Sérgio.

Na verdade, quero agradecer a todas as pessoas que se cruzaram na minha vida pois foram elas que fizeram de mim o que sou hoje.

RESUMO

Na atualidade, a indústria cimenteira é um setor de atividade sobre pressão económica devido ao abrandamento do mercado da construção. O seu modo de funcionamento é caracterizado pela exploração de matérias-primas em volumes colossais, assim como, por agressivos processos de transformação. Consequentemente, o número de veículos necessários para gerir as movimentações entre fábricas e clientes é significativo.

Por esse mesmo motivo, a gestão interna dos fluxos logísticos nas fábricas torna-se complicada. Considerando a importância deste fator, o presente trabalho tem como objetivo simular as movimentações internas da fábrica Cimpor, na Maia, em diferentes cenários: (i) a situação atual; (ii) cenário em capacidade máxima; (iii) cenário com chegada de um navio de matéria-prima; (iv) e cenário com propostas de melhoria. Foi utilizado o *Simio software* para a construção dos modelos.

Para ser possível o processo de modelação, foi analisada literatura de logística, simulação e da própria indústria, de forma a compreender os processos e os comportamentos das fábricas.

Os resultados obtidos sugerem que a fábrica de cimento da Maia sobrestima a sua capacidade e, neste cenário, não tem capacidade para processar o volume de camiões que procuram o cimento ensacado (área do armazém). Adicionando a chegada de um navio, o cenário repete-se. O fluxo gerado pelos camiões responsáveis pelo transporte da matéria-prima do navio para a fábrica faz com que não seja possível de processá-los na totalidade. Em contraste, os camiões cisterna, responsáveis pelo transporte de cimento a granel, são processados na sua totalidade em todos os cenários.

A primeira proposta de melhoria sugere a negociação de janelas temporais com os clientes, de forma a normalizar a procura. Adicionalmente, é proposto um novo valor de capacidade máxima do número de camiões que podem ser aceites para o carregamento de material ensacado.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria cimenteira; Simulação; Logística; Simio; Sistema integrado de pesagem;

ABSTRACT

Currently, the cement industry is a sector of activity on economics pressure due to the slowdown of the construction market. Its mode of operation is characterized by the exploitation of raw materials in huge volumes, as well as aggressive transformation processes. Consequently, the number of vehicles needed to manage the movements between factories and customers is significant.

For this reason, the internal management of logistics flows in factories becomes complex. Considering the importance of this factor, the present work aims to simulate the internal movements of the Cimpor factory in Maia, in different scenarios: (i) current situation; (ii) scenario at full capacity; scenery with the arrival of a raw material ship; (iv) and a scenario with proposals for improvement. The Simio software was used for the construction of the models.

To help the modeling process, literature was consulted in three different areas - logistics, simulation and cement industry itself to help the understanding of processes and behaviors inside the factories.

The results suggest that the Maia cement plant overestimates its capacity and, in this scenario, it has no capacity to process the volume of trucks looking for bagged cement (warehouse area). Adding the arrival of a ship, the scene repeats itself. The flow generated by the lorries responsible for transporting the raw material from the ship to the factory makes it impossible to process them in full. In contrast, tanker trucks, responsible for transporting bulk cement, are processed in their entirety in all scenarios.

The first improvement proposal suggests negotiating time windows with customers in order to normalize demand. Additionally, a new capacity value of the maximum number of trucks that can be accepted for loading of bagged material is proposed.

KEYWORDS

Cement industry; Simulation; Logistics; Simio; Integrated weighing system;

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Contextualização do projeto.....	1
1.2 Problemática.....	3
1.3 Estrutura da dissertação.....	5
2. Revisão de literatura.....	7
2.1 Indústria cimenteira.....	7
2.1.1 Caracterização do mercado.....	7
2.1.2 Evolução do mercado.....	8
2.1.3 Produção – Processo detalhado.....	13
2.1.4 Análise do sistema e cadeia logística.....	17
2.2 Logística.....	23
2.2.1 Cadeia logística – Definição, evolução e impacto organizacional.....	23
2.2.2 Graus de integração logística.....	26
2.2.3 Estratégias de decisão, distribuição e variáveis.....	29
2.2.4 Agendamento e escalonamento.....	33
2.2.5 Métodos de suporte à decisão.....	35
2.3 Simulação.....	37
2.3.1 Definição de simulação.....	37
2.3.2 História e orientação da simulação.....	38
2.3.3 Vantagens e desvantagens.....	40
2.3.4 Análise de casos de estudo reais.....	42
3. Modelação.....	49
3.1 Ambiente do Simio.....	49
3.2 A unidade fabril.....	51

3.3	Recolha e tratamento de dados	53
3.4	Desenvolvimento do modelo	56
3.4.1	Processo de modelação	56
3.4.2	Conceção estrutural do modelo.....	57
3.5	Análise de resultados e conclusões.....	65
3.5.1	Modelo teste – Diagnóstico atual, métricas e validação	65
3.5.2	Modelo 1 – Fluxo máximo.....	68
3.5.3	Modelo 2 – Influência da chegada de navio.....	72
3.5.4	Modelo 3 – Propostas de melhorias	76
4.	Conclusão	82
	Referências Bibliográficas	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura lógica do sistema	2
Figura 2 - Representação genérica do ambiente logístico de uma fábrica de cimento (adaptado de (Cachapuz, 2017))	3
Figura 3 - Evolução da produção mundial de cimento (Cembureau).....	10
Figura 4 - China: Produção de cimento vs taxa de crescimento do PIB (National Bureau of Statistics of China).....	11
Figura 5 - EUA: Produção de cimento vs taxa de crescimento do PIB (USGS).....	12
Figura 6 - Portugal: Produção de cimento vs taxa de crescimento do PIB (Minerals Uk; Pordata).....	13
Figura 7 - Processo de britagem.....	15
Figura 8 - Armazém de pré-homogeneização e processo de silagem.....	15
Figura 9 - Torre de ciclones.....	16
Figura 10 - Forno rotativo e o seu interior.....	16
Figura 11 - Moinho de bolas	17
Figura 12 - Tipologia de transportes utilizada na indústria cimenteira.....	19
Figura 13 - Fábrica Cimpor Alhandra.....	19
Figura 14 - Caminho de acesso a matérias-primas.....	20
Figura 15 - Amereyah Cement Plant (Egipto) : Acesso às matérias-primas.....	21
Figura 16 - Titan Antea Cement (Albânia): Acesso às matérias-primas.....	21
Figura 17 - Acesso ao porto marítimo.....	22
Figura 18 - Localização das duas fábricas.....	22
Figura 19 - Impactos da estrutura logística na competitividade das empresas (adaptado de (Li et al., 2006)).....	25
Figura 20 - Representação do processo de decisão (adaptado de (Bilgen et al. (2004)).....	30
Figura 21 - Estratégias de distribuição: (A) Expedição direta; (B) Warehousing; (C) Crossdocking.(adaptado de (Rushton, Croucher, & Baker, 2011)).....	31
Figura 22 - Processo de abordagem à simulação (adaptado de (Fowler et al. (2004)).....	38
Figura 23 - Mapeamento das relações dos processos nas organizações (adaptado de (MacArthur et al, (1994)).	43

Figura 24 - Representação 2D e 3D do porto marítimo de Patras (adaptado de (Georgia & Stamatis, 2013)	45
Figura 25 - Estrutura base da construção de um modelo de simulação.(adaptado de (Song & Eldin, 2012).	47
Figura 26 - Modelo em Simio de reabilitação de uma estrada nos Estados Unidos (adaptado de (Song & Eldin, 2012).	48
Figura 27 - Simio: Interface de simulação	49
Figura 28 – Barra de ferramentas do Simio.	51
Figura 29 - Vias ferroviárias internas.	52
Figura 30 - Acesso ao porto de Leixões e vias rodoviárias em redor da fábrica.	53
Figura 31 - Armazenagem e transporte de paletes.	54
Figura 32 - Silos Maia: Montagem panorâmica	55
Figura 33 - Armazém fábrica Maia	55
Figura 34 - Geração de caminhos no Simio.	57
Figura 35 - Ferramenta de medição e representação de caminhos no Simio.	58
Figura 36 - Inserir símbolos no Simio.	59
Figura 37 - Propriedades do objeto server.	60
Figura 38 - Representação das portarias de entrada e saída.	61
Figura 39 - Modelação dos Silos.	62
Figura 40 - Comparação de propriedades: ModelEntry(à esquerda) vs Vehicle (à direita).	63
Figura 41 - Introdução da lógica de movimentação no camião cisterna.	63
Figura 42 - Representação de elementos de apoio gráfico sem impacto no sistema.	64
Figura 43 - Modelo simio : Fábrica Cimpor Maia.	64
Figura 44 - Associação de rate tables aos objetos.	67
Figura 45 - Fila na zona do armazém depois de 5 horas e 2 minutos de simulação.	70
Figura 46 – Modelo 1: N° de Camiões na área do armazém vs N° Camiões na área dos silos.	71
Figura 47 – Modelo 1: N° Caixa aberta necessários vs N° Caixa aberta processados.	72
Figura 48 – Modelo 2: N° CMP necessário vs N° CMP processados.	75
Figura 49 - Conflito no caminho para a portaria.	75
Figura 50 – Modelo 2: N° Cisterna necessários vs N° Cisterna processados.	76
Figura 51 – Modelo proposta de melhoria: N° Camiões necessários vs N° Camiões processados: cenário final.	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - 10 maiores produtores de cimento mundiais.	9
Tabela 2 - 10 maiores grupos ou empresas cimenteiras.	10
Tabela 3 - Tipos de cimento Portland	14
Tabela 4 – Percentagem de empresas por setor de negócio que utilizam serviços subcontratados.	27
Tabela 5 – Tipo de serviços subcontratados por percentagem de uso atual e planeado.....	27
Tabela 6 - Níveis de gestão e responsabilidades.	30
Tabela 7 – Resultados da categorização de doentes.	36
Tabela 8 - Vantagens da utilização do Simio.	41
Tabela 9 - Desvantagens da utilização do Simio	42
Tabela 10 - Descrição dos objetos na standard library	50
Tabela 11 - Tipos e tempos de operações.	54
Tabela 12 - Tabela de chegadas: Modelo diagnóstico	66
Tabela 13 - Métricas recolhidas: Modelo diagnóstico	68
Tabela 14 - Tabelas de chegadas: Modelo fluxo máximo.....	69
Tabela 15 - Métricas recolhidas: Modelo fluxo máximo	70
Tabela 16 - Tabela de chegadas: Modelo chegada de navio.....	73
Tabela 17 - Métricas recolhidas: Modelo chegada do navio.....	74
Tabela 18 - Tabela de chegadas: Modelo propostas de melhorias.....	77
Tabela 19 - Métricas recolhidas: Modelo propostas de melhoria	78
Tabela 20 - Tabela de chega 2: Modelo propostas de melhoria.....	79
Tabela 21 - Métricas recolhidas 2: Modelo propostas de melhoria	80

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do projeto – *Unified Hub for Smart Plants*

A Cachapuz, detida pelo *Bilanciai Group*, tem feito história em Portugal com a produção e desenvolvimento de ferramentas e soluções de pesagem, atingindo a liderança do mercado interno em meado do século XX e exportando para diversos mercados como Angola, Moçambique, Cuba, entre outros (Cachapuz, 2016). O seu principal alvo no desenvolvimento de soluções de *software* e automação é a indústria cimenteira, com a comercialização do produto *SLV Cement*. A dimensão da indústria e o poder de aquisição deste tipo de solução – normalmente com elevado custo – são as justificações para este posicionamento de mercado.

A produção na indústria cimenteira é caracterizada pela utilização de matérias-primas volumosas e pela necessidade de grandes quantidades de combustíveis sendo o produto final, cimento, ou intermédio, clínquer, materiais de baixo custo e com um peso considerável. Por conseguinte, a localização ideal para fábricas cimenteiras seria próxima de fornecedores de matérias-primas e combustíveis, e perto de grandes mercados ou de estruturas capazes de proceder ao transporte de grandes quantidades, como portos marítimos. Estas características nem sempre são possíveis de obter, implicando a compreensão do sistema logístico de uma forma integrada. Este é um fator chave para a competitividade das fábricas num mercado com um elevado grau de concorrência (Cross, Geography, Jan, & Morrison, 2014).

O objetivo do projeto UH4SP, *Unified Hub for Smart Plants*, é a criação de um novo paradigma de funcionamento deste género de soluções (Figura 1), adequado à tipologia dos clientes Cachapuz. Tem por base a integração e disponibilização de informação, com diferentes níveis de acesso, a todos os agentes da cadeia de abastecimento, através do desenvolvimento de uma arquitetura de *software* orientada a serviços e soluções tecnológicas, incorporando os paradigmas de *internet of things (IoT)* e Indústria 4.0. O projeto tem por base uma parceria entre a Universidade do Minho, com a representação do Centro Algoritmi e o Centro de Computação Gráfica, e a empresa Cachapuz.

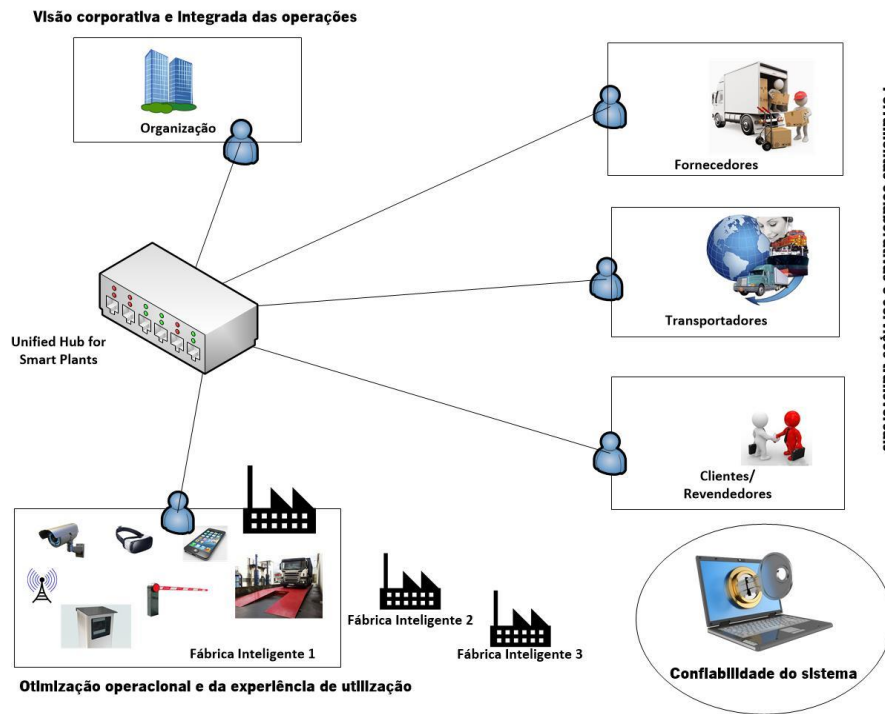


Figura 1 - Estrutura lógica do sistema

Deste modo, com uma visão geral, pretende-se com este projeto responder a quatro grandes necessidades:

1. Suporte a uma visão corporativa e agregada das operações;
2. Desenvolvimento de ferramentas colaborativas e serviços transversais que possibilitem a interação com as entidades que integram a cadeia de abastecimento;
3. Otimização operacional e da experiência de utilização;
4. Confiabilidade do sistema.

Contudo, a responsabilidade da equipa formada pelos investigadores e docentes do Centro Algoritmi no âmbito do UH4SP identifica-se com o desenvolvimento e adoção de mecanismos de simulação e otimização na gestão de operações logísticas. A tradução dessa função estabelece tarefas como a definição de *layouts*, através da especificação formal dos mesmos, suportada na geração automática de modelos de simulação, com agentes e objetos inteligentes, que promove a rápida arquitetura de unidades industrial e a sua análise, reduzindo o risco na tomada de decisão.

1.2 Problemática

No enquadramento do projeto, foram propostos à equipa de investigadores afeta ao Departamento de Produção e Sistemas vários desafios integrados no âmbito da otimização e simulação das operações logísticas.

Atendendo às características intrínsecas da indústria cimenteira, foram apresentadas quatro realidades de estudo: (i) fornecedores; (ii) portos marítimos; (iii) fábrica; (iv) e clientes. A Figura 2 ilustra uma representação genérica do sistema, com a representação dos diversos intervenientes.



Figura 2 - Representação genérica do ambiente logístico de uma fábrica de cimento (adaptado de (Cachapuz, 2017))

Em análise conjunta com a Cachapuz e considerando o mecanismo de funcionamento da cadeia de abastecimento, foram identificados quatro campos centrais problemáticos a serem analisados pela equipa do projeto:

1. A problemática dos transportes até à fábrica e a partir da fábrica;
2. A circulação dentro da fábrica, com a gestão de filas de espera e rotas que devem seguir;
3. A gestão do armazém, com a correta alocação dos recursos necessários para o armazenamento ou transporte do produto ensacado;
4. A calendarização e agendamento do funcionamento dos silos, com o objeto de otimizar a combinação de silos em funcionamento que corresponda às necessidades da fábrica da maneira mais eficiente possível.

Por consequência, o nivelamento da procura é visto, também, como um desafio. As incertezas de mercado aumentam a variância dos lucros ou custos das organizações, com tendência para a diminuição do lucro. A incerteza na procura, em particular, é um fator importante a considerar no desenho, tanto da cadeia de abastecimento como nas operações (Young, Blau, Pekny, Reklaitis, & Eversdyk, 2004). Contudo, a sua resolução será o colmatar de todas as análises e estratégias desenvolvidas na criação de soluções para as problemáticas enumeradas anteriormente, visto que a relação de dependência é evidente. Fundamentalmente, no projeto UH4SP, o nivelamento da procura e a otimização logística são objetivos partilhados.

No entanto, as metodologias desenvolvidas para atingir os objetivos de melhoria só são realmente fiáveis quando as ferramentas e as técnicas que as suportam também o são (Cheung & Bal, 1998). Desse modo, a simulação foi definida como estratégia e ferramenta de apoio à validação de decisões devido à sua elevada capacidade de representação de sistema. O *software* escolhido para a realização do estudo proposto foi o *Simio* devido às suas capacidades gráficas e matemáticas, fatores em análise na secção 2.3.

No âmbito da presente dissertação, a simulação será o ponto central. Como objetivo fundamental, pretende-se facultar a possibilidade de incorporar a representação de fábricas cimenteiras com os devidos fluxos logísticos num ambiente computacional, de forma a possibilitar a análise estratégica e corporativa do sistema e assim, implementar ações de melhoria.

As perguntas de investigação inerentes a este estudo são:

- Quais são as melhores estratégias a seguir para obter a maximização de eficiência utilizando os recursos existentes?
- Quais são os elementos que perturbam o fluxo do sistema?

A tradução em objetivos, devido à metodologia empregue, é essencial. Consequentemente, os objetivos acordados relativos à intervenção associada à simulação são os seguintes:

1. Análise das filas de espera nos circuitos internos das fábricas, no cenário atual e nos cenários propostos;
2. Estudo das rotas a seguir dentro das fábricas;
3. Analisar os fluxos logísticos, interna e externamente;
4. Analisar os processos e identificar oportunidades de melhoria no sistema global;
5. Realizar experiências e simulações nos sistemas estudados.

A apresentação do trabalho realizado até à data no âmbito destes objetivos, vai ser explorado na presente dissertação.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em quatro capítulos que pretendem conceber uma interligação entre conhecimentos da área de logística e simulação, aplicando-os à indústria cimenteira. São eles a introdução, revisão de literatura, modelação e conclusão.

O primeiro capítulo está dedicado ao enquadramento do projeto num ambiente integrado com o desenvolvimento de um *software* adaptado a diferentes universos de atuação e responsabilidades. No tópico dos objetivos são evidenciados os desafios propostos e, posteriormente, traduzidos em intervenções esperadas no âmbito de ação individual do trabalho a desenvolver na vigente dissertação.

O segundo capítulo é alusivo à revisão de literatura e está dividido em três grandes secções: indústria cimenteira, logística e simulação.

A primeira análise está associada ao funcionamento da indústria cimenteira. Nesse sentido, é executada uma caracterização do mercado através de um enquadramento histórico relativo à intervenção do cimento e do estudo de evidências que qualificam o funcionamento do mercado como um oligopólio. De seguida, é realizada uma compilação e análise de dados estatísticos reais, referentes à evolução da produção de cimento em diferentes países. Na terceira secção, são expostas todas as operações subjacentes ao processo de produção com ilustrações de cada etapa. Por fim, é elaborado um levantamento das condições logísticas ideais à laboração de unidades fabris do sector tais como transportes, infraestruturas e outros fatores relevantes.

Como referido anteriormente, o tema da segunda secção da revisão bibliográfica é a logística. Neste campo, o foco é direcionado para o estudo de conceitos de logística essenciais ao suporte das atividades de simulação. Desta forma, inicialmente, é executada uma introdução à noção de cadeia logística com a sua definição, evolução e impacto organizacional. Posteriormente, é explorado o princípio da integração com a exposição das principais atividades a que as organizações recorrem a serviços subcontratados. De seguida, são apresentadas diferentes estratégias de decisão e o seu posicionamento nos níveis de gestão (estratégico, tático e operacional), introduzindo-se também as principais estratégias de distribuição consideradas na literatura e as variáveis a averiguar no processo de seleção de cada uma delas. Por fim, é feita uma análise aos problemas de agendamento e escalonamento, incutindo ênfase na problemática de rotas, com o intuito de identificar restrições adicionais ao problema clássico de minimização da distância da rota perante n pontos. Adicionalmente, são expostos os diferentes métodos

de suporte à decisão: *benchmarking*, otimização e simulação. Este ponto serve de introdução ao trabalho desenvolvido nas partes subsequentes pois é na secção seguinte que a simulação e o seu ambiente de funcionamento passam a ser o foco central da dissertação.

O Capítulo 2 termina com a exploração do funcionamento da simulação. O primeiro ponto apresentado é a sua definição aliada a conceitos importantes tais como, a diferenciação entre simulação e modelação, e a abordagem geral proposta a problemas com o uso da simulação. De forma complementar, é também retratada uma linha temporal da simulação em relação aos paradigmas e orientações utilizados desde os seus primórdios. Nesta secção, é também apresentado o *Simio*, a ferramenta de simulação definida para debater os desafios propostos no estudo em questão. De seguida, são averiguadas as vantagens e desvantagens que vários autores apontaram aquando a utilização desta ferramenta. Após esse levantamento, é facultada uma análise de casos reais de forma detalhada com o objetivo de identificar atitudes, abordagens ou visões, com efeitos positivos ou negativos, que apoiem o trabalho desenvolvido no Capítulo 3. Neste secção, são estudados três casos: (i) o caso de uma fábrica de cimentos na Índia; (ii) um caso relacionado com a indústria marítima, concretamente, o funcionamento de um porto marítimo em Patras, Grécia; (iii) e o caso de uma reabilitação de uma estrada nos Estados Unidos, com a particularidade da tentativa de utilização de dados em tempo real.

O Capítulo 3 é dedicado à exposição do trabalho prático de modelação desenvolvido. Este inicia-se com a apresentação da *interface* da ferramenta utilizada - o *Simio*. Posteriormente, é executado um enquadramento logístico, interno e externo, da unidade fabril modelada - a fábrica Cimpor na Maia -, através do levantamento e análise das vias de comunicação disponíveis para aceder a localizações de interesse, como por exemplo, o porto marítimo de Leixões. Os valores dos dados introduzidos no modelo são apresentados na secção posterior e são referentes a: (i) tempos de operações; (ii) e capacidades de processamento dos silos e do armazém. Na secção “desenvolvimento do modelo”, são retratados pormenores relativos ao desenvolvimento do modelo como pressupostos a respeitar, definição de métricas de interesse, discussão de lógicas de comportamento e questões de representação gráfica. No final do capítulo dedicado à simulação, encontra-se também o tópico mais importante da dissertação – Simulação e análise de resultados. É nesta secção que são exibidos os modelos desenvolvidos e são realizadas inferências baseadas nas métricas obtidas.

Por fim, no último capítulo citam-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido e apresenta-se a possibilidade de adaptação dos modelos a instâncias de maior dimensão em projetos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Indústria cimenteira

2.1.1 Caracterização do mercado

A rápida progressão social e a extensão em larga escala do investimento industrial são responsáveis pelo crescimento substancial da construção. A tradução desse crescimento fez-se refletir na quantidade de produção e consumo de cimento, tendo sido, durante certos períodos, uma métrica para caracterizar o nível de desenvolvimento de países (Bayoumi & El-Bagoury, 1979).

Historicamente, a utilização de materiais cimenteiros está associada aos Egípcios, Gregos e Romanos que produziam uma mistura chamada “*pozzolanica*” que, maioritariamente, era constituída por calcário e areia. Apesar desse facto, a primeira referência oficial relativa à invenção de cimento, mais precisamente do cimento tipo *Portland*, o mais amplamente utilizado no mundo, está datada a 21 de Outubro de 1824 com a patente número 5022. O registo foi submetido por Joseph Aspdin, um pedreiro inglês, no entanto, com especificações vagas e quantidades de mistura não definidas. Por fim, em meados de 1840, Isaac Charles Johnson desenvolveu o chamado cimento moderno, ainda baseado em grande parte no cimento tradicional, simplesmente com uma mistura mais aprimorada de matérias-primas e com temperaturas de cozedura similares às que se utilizam atualmente (Gagg, 2014).

Em relação à estrutura de mercado, a indústria cimenteira é caracterizada como oligopolista em muitos países Europeus, registando-se um número limitado de vendedores em cada mercado interno. Na literatura, relatam-se casos em que um produtor domina mais de 90% da cota de mercado (Sørgard, 1992). O oligopólio, como estrutura de mercado, é a mais comum nos países desenvolvidos. A designação é atribuída quando as organizações atuam em concorrência imperfeita, identificando-se um pequeno número de empresas que oferecem produtos similares, oligopólio homogéneo, ou diferenciados, oligopólio heterogéneo, facilitando-se assim a influência sobre a formação de preços através do controlo de quantidades (V. Maria, 2014).

O suporte deste funcionamento de mercado é ainda garantido pelo facto da entrada em novos mercados, no caso da indústria cimenteira, ser realizada através de aquisições, ou seja, a capacidade da indústria não aumenta causando um efeito controlador sobre o lado da oferta. O custo da implementação de fábricas requer investimentos consideráveis, o que se traduz em custos fixos avultados, afastando assim novos *players*. Mesmo no caso da instalação de entrepostos, responsáveis só pela transformação do

clínquer, um produto preliminar do cimento, estão associados a custos variáveis altos visto que têm de importar a matéria-prima que, neste caso, é extremamente dispendiosa de transportar (Raventós & Zolezzi, 2015).

Num questionário dirigido a 70 gestores de topo de fábricas cimenteiras na Turquia, responsáveis por decisões a nível estratégico, com uma taxa de resposta de 86%, ou seja, 60 gestores, pretendia-se averiguar quais os principais fatores que reconheciam como geradores de pressão no negócio onde estavam inseridos. A abordagem foi concebida tendo em consideração a análise proposta pelo modelo das 5 forças de *Porter*, sendo que este tem como objetivo avaliar a rivalidade presente na indústria através de 5 pontos: (i) o risco de entrada de novos concorrentes; (ii) a ameaça de produtos substitutos; (iii) o poder de negociação dos fornecedores; (iv) poder de negociação dos compradores; (v) e o grau de competitividade dentro da indústria (Yunna & Yisheng, 2014).

Desta forma, os resultados obtidos estão de acordo com a literatura anteriormente consultada no âmbito da presente dissertação. Os participantes identificaram a ameaça de produtos substitutos, madeira ou aço, como o fator mais alarmante no mercado onde atuam. De seguida, selecionaram a rivalidade dentro da própria indústria justificando a escolha com os preços baixos do produto, a dependência dos custos fixos e com a volatilidade do mercado da construção. O poder negocial dos clientes e dos fornecedores foram resvalados para antepenúltimo e penúltimo lugar respetivamente. Por fim, como a literatura indica, o elemento que menos receiam é a entrada de novos concorrentes no mercado dado que o investimento necessário, especialmente em equipamento, estruturas, energia e licenças ambientais gera uma enorme barreira de entrada no mercado (Ulubeyli, 2017).

No entanto, globalmente, a produção e procura de cimento continuar a aumentar, muito por força do mercado Asiático. Os papeis da China e da Índia são essenciais para garantir a sustentabilidade financeira do sistema. No sentido oposto, a produção na União Europeia e nos Estado Unidos da América diminuiu revelando as fortes pressões ambientais a que a indústria está a ser sujeita e à perda de competitividade perante os países em desenvolvimento (Supino, Malandrino, Testa, & Sica, 2016). Estes temas vão ser explorados nos tópicos seguintes da presente dissertação.

2.1.2 Evolução do mercado

Em 2015, a atividade económica global permaneceu moderada, principalmente em linha com a desaceleração nas economias emergentes e em desenvolvimento. De facto, a desaceleração das importações e exportações foi superior à antecipada inicialmente, com a China a ser um fator preponderante. Este desempenho acabou por ter efeitos noutras economias, por via do comércio e dos

reduzidos preços das *commodities*, assim como pela redução da confiança dos agentes económicos e aumento da volatilidade nos mercados financeiros (Banco Português de Investimento, 2016).

No entanto, na China, uma grande quantidade de edifícios tem sido contruída causando um aumento de espaço utilizado de 10,2 mil milhões de metros quadrados em 1980 para 52,7 mil milhões de metros quadrados em 2008. O crescimento do setor levou a uma pressão na procura de materiais como cimento e aço, transformando a China no maior produtor de cimento desde 1985 (Huang, Shi, Tanikawa, Fei, & Han, 2013). A Tabela 1 identifica os 10 maiores produtores mundiais de cimento.

Tabela 1 - 10 maiores produtores de cimento mundiais.

Produção de cimento (Milhões de toneladas)										
País	2001	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
China	666.1	1361.2	1388.4	1644	1881.9	2063.2	2137	2420	2480	2350
Índia	102.9	170.5	185	205	220	240	270	280	260	270
EU28	225.6	269.1	250.8	209	192.1	191.6	172.6	166.6	166.8	167.2
EUA	88.9	95.5	86.3	63.9	65.2	68.6	74.9	77.4	83.2	83.4
Brasil	39.4	45.9	51.6	51.7	59.1	63	68.8	70	72	72
Turquia	30	49.3	51.4	54	62.7	63.4	63.9	72.7	71.2	72.8
Rússia	28.7	59.9	53.5	44.3	50.4	56.1	53	72	68.4	69
Indonésia	31.1	35	38.5	36.9	39.5	45.2	32	56	65	65
Coreia do Sul	52	52.2	51.7	50.1	47.4	48.2	48	47.3	63.2	63
Japão	79.5	71.4	67.3	59.6	56.6	56.4	51.3	57.4	53.8	55

Fonte: Cembureau.

Apesar do facto da China ser o maior produtor Mundial de cimento, como descrito anteriormente, a entrada de novas empresas em novos mercados é feita essencialmente por aquisições, o que sustenta o facto do maior grupo de produção cimenteira não ser Chinês. A Tabela 2 apresenta os maiores grupos ou empresas por capacidade instalada.

Tabela 2 - 10 maiores grupos ou empresas cimenteiras.

Empresa/Grupo	País	Capacidade(Mt/ano)	Número de fábricas
Lafarge	França	225	166
Holcim	Suíça	217	149
CNBM	China	200	69
Anhui Conch	China	180	34
HeidelbergCement	Alemanha	118	71
Jidong	China	100	100
Cemex	México	96	61
China Resources	China	89	16
Sinoma	China	87	24
Shanshui	China	84	13

Fonte: cimento.org

Similarmente a outras indústrias como a aviação ou os serviços financeiros, o comércio do cimento está baseado num modelo de crescimento onde o tamanho da organização é uma métrica. A base do seu funcionamento não se traduz necessariamente em valor acrescentado para as organizações ou para os investidores, mas sim em operações pagas em excesso associadas a uma insuficiente disciplina no controlo do capital. Ainda assim, recentemente, o aumento da procura em regiões emergentes tem vindo a criar novas oportunidades de negócio o que se reflete na quantidade produzida mundialmente (McKinsey&Company, 2015). A Figura 3 ilustra a tendência em valores absolutos e percentuais da produção de cimento a nível mundial.

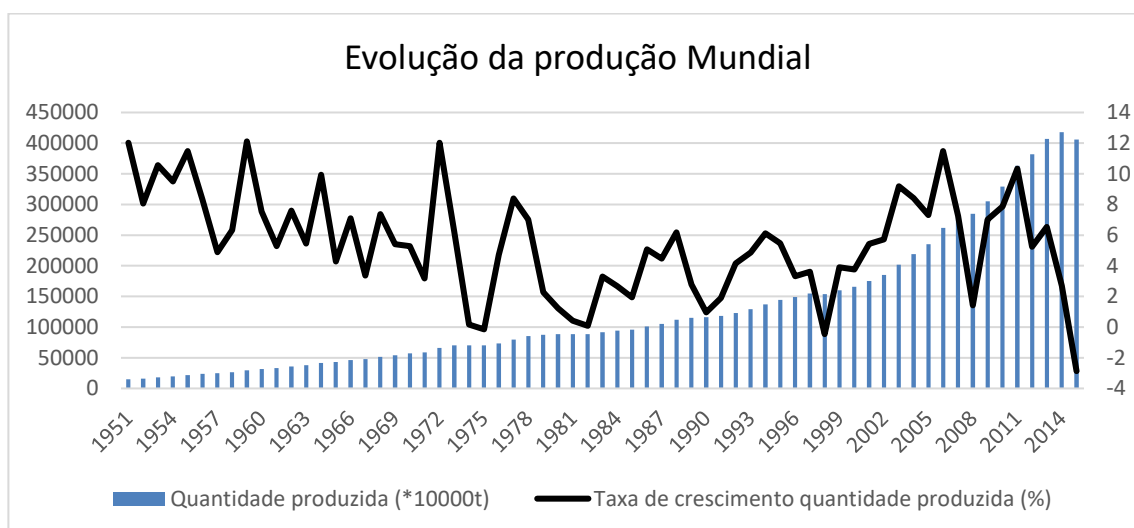


Figura 3 - Evolução da produção mundial de cimento (Cembureau)

A indústria cimenteira é caracterizada como sendo um bom indicador do crescimento e progresso de um país visto que o consumo de cimento implica mudanças no desenvolvimento de uma região ou país e

depende de fatores como a procura, reservas de matérias-primas, acesso ao mercado financeiro e às condições económicas de cada país (Cimento.Org, 2013).

Os dados recolhidos e expostos nos gráficos seguintes pretendem testar essa mesma afirmação. No sentido de ser um bom indicador do crescimento de um país, a tendência identificada será de, em momentos de taxas de crescimento positivas do PIB, a produção de cimento interna do país também deverá aumentar e vice-versa. Dessa forma, os casos selecionados foram: China, Estados Unidos e Portugal. A base para a escolha destes países foi a disponibilidade de dados assim como o impacto na produção mundial, no caso da China e dos Estados Unidos. Portugal aparece como investigação ao mercado nacional. A Figura 4 introduz esta análise com o mercado Chinês.

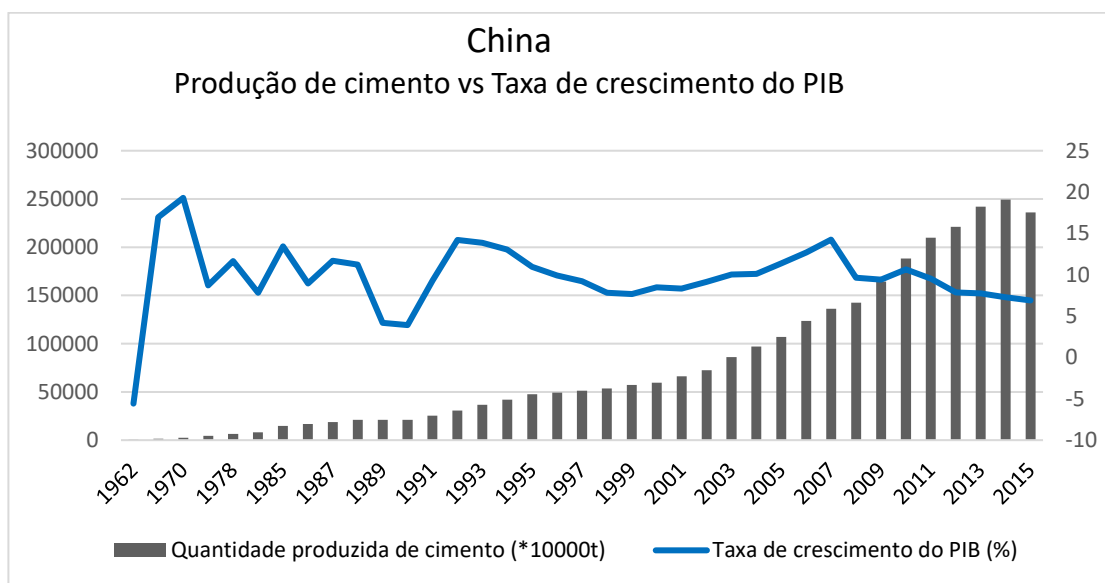


Figura 4 - China: Produção de cimento vs taxa de crescimento do PIB (National Bureau of Statistics of China)

Como podemos verificar, no caso chinês, os dados parecem ir em sentido à associação proposta anteriormente. As taxas do crescimento positivas do PIB têm sido acompanhadas pelo aumento da produção de cimento.

Neste momento, vários são os relatórios que afirmam que a oferta e a procura no mercado cimenteiro chinês já não se encontram equilibrados, fator que é influenciado pela excessiva capacidade instalada. Adicionalmente, a migração de zonas rurais para zonas urbanas tem justificado os elevados níveis de construção que suportam a indústria de cimento no seu funcionamento (Wang, Hui, Choguill, & Jia, 2015).

Por outro lado, nos últimos 20 anos, a China tem sido um elemento ativo na remodelação de cidades antigas e construção de novas em volta de cidades em expansão. As circunstâncias originaram o desenvolvimento de *ghost towns* como *Ordos of Inner Mongolia*, uma vez que o governo chinês justifica a sua idealização com o crescimento massivo da população até 2030. Contudo, críticos e investigadores

da estratégia em questão, argumentam que essas cidades são desenvolvidas para a economia cumprir os objetivos definidos pelo governo no que toca às taxas do crescimento do PIB (Xue, Wang, & Tsai, 2013).

Da mesma forma, averiguações podem ser feitas ao caso Americano (Figura 5) e ao caso Português (Figura 6), não na mesma escala de produção, mas com conclusões similares. Na análise conjunta, rapidamente existe a indicação que em ambientes económicos onde a taxa de crescimento do produto interno bruto é positiva, a produção de cimento tende a acompanhar esse impulso. Apesar dos dados serem provenientes de uma linha temporal distinta, isto é, o histórico de dados dos EUA é muito superior ao de Portugal, os dados no ano 2008 e 2009 indicam uma tendência na mesma perspetiva, mas em sentido contrário. A crise dos mercados financeiros em 2008 originada por diversos fatores e com impactos no mercado imobiliário produziu um efeito negativo bastante acentuado no produto interno bruto dos dois países, levando a produção de cimento a decrescer para responder à possível baixa da procura interna pelo produto.

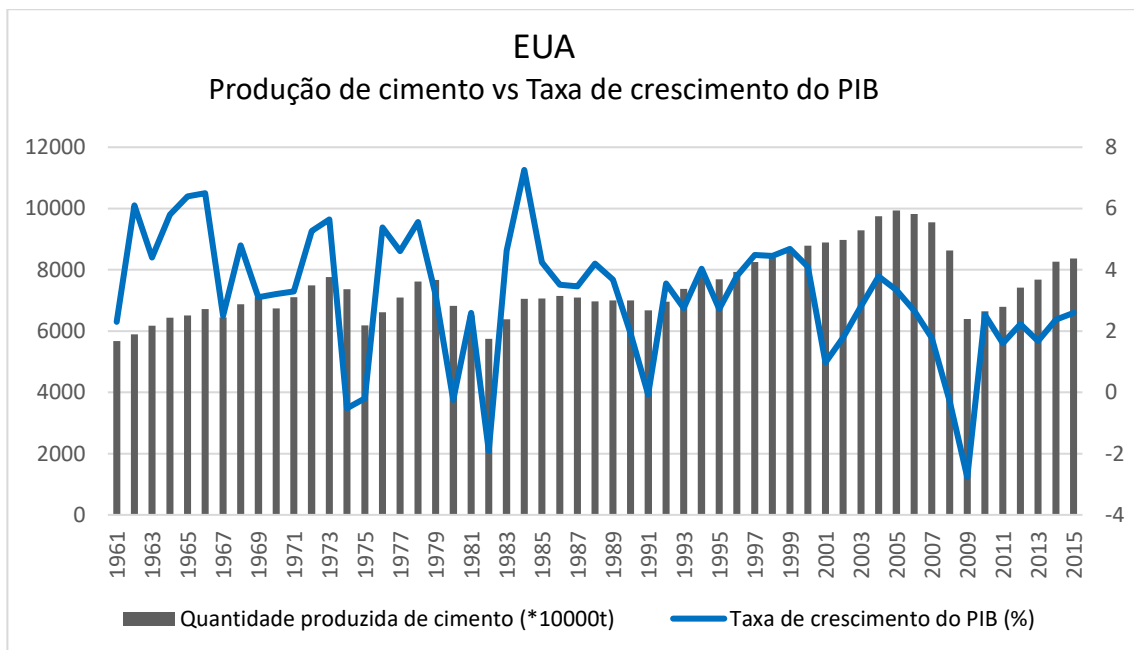


Figura 5 - EUA: Produção de cimento vs taxa de crescimento do PIB (USGS)

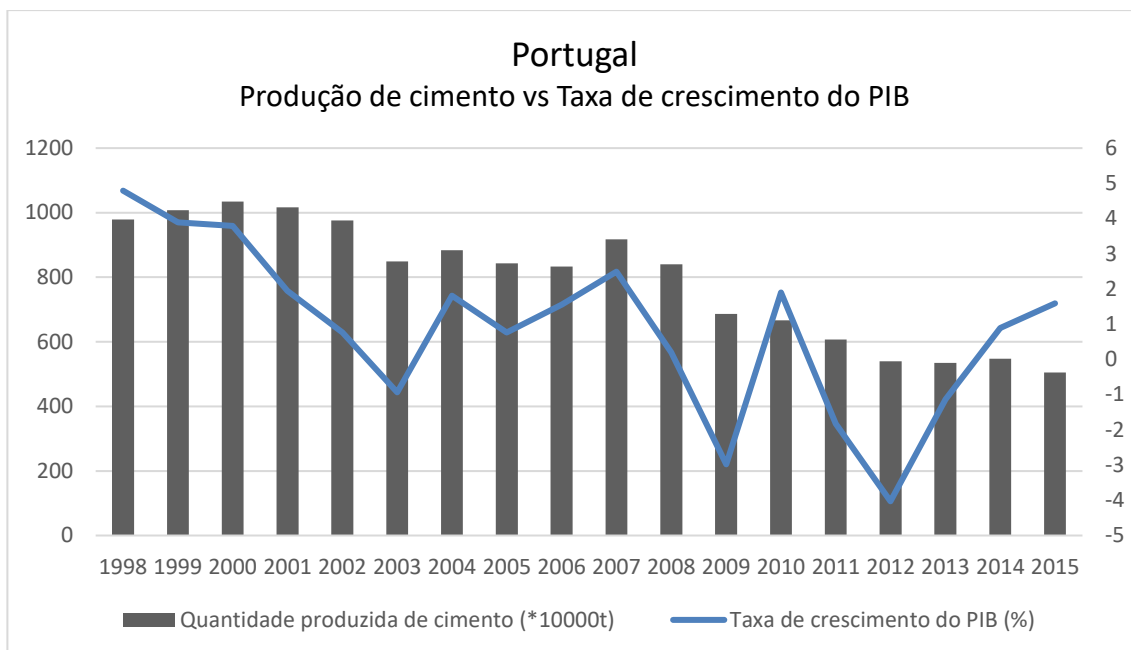


Figura 6 - Portugal: Produção de cimento vs taxa de crescimento do PIB (Minerals UK; Pordata)

Contudo, em Setembro de 2015, o protocolo “*National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP)*” para fábricas cimenteiras entrou em vigor e reduziu as quantidades aceites relativas à emissão de poluentes. A atualização para os novos valores incentivou a instalação de novas tecnologias, mas ainda não é claro se as modificações são economicamente viáveis para algumas instalações o que pode estimular o encerramento de partes produtivas. Na sequência desse acontecimento, no futuro, é natural que a capacidade produtiva, por exemplo, dos Estados Unidos diminua ou seja transferida para países com a legislação mais liberal nesses aspetos (G. Van Oss, 2017).

2.1.3 Produção – Processo detalhado

A produção de cimento é um processo reconhecido pela produção em massa, sendo caracterizado pela mistura de quantidades colossais de substâncias. No mundo industrial, é um dos processos com maior consumo de materiais e uso de energia, grande parte devido à produção de clínquer, o componente base da produção de cimento (Supino, Malandrino, Testa, & Sica, 2016).

Nesta perspetiva, o processo de produção de cimento pode ser dividido em duas fases internas às fábricas: produção de clínquer e moagem. Essencialmente, o clínquer é um material granular que resulta de uma mistura de calcário, argila e de outros componentes químicos como o silício, o alumínio e ferro e serve de matéria-prima base de diversos tipos de cimento, dispostos na Tabela 3 (IEA, 2010).

Tabela 3 - Tipos de cimento Portland

Categoria	Tipos de cimento	Adições (%)	Clínquer (%)
CEM I	Cimento <i>portland</i> comum	Escória, pozolana ou filer (até 5%)	95-100%
CEM II	Cimento <i>portland composto</i>	Escória (6-34%)	65-94%
		Pozolana (6-14%)	
		Filer (6-10%)	
CEM III	Cimento <i>portland</i> de alto-forno	Escória (35-70%)	5-64%
CEM IV	Cimento <i>portland</i> pozolânico	Pozolana (15-50%)	45-89%
CEM V	Cimento <i>portland</i> de alta resistência inicial	Materiais carbonários (até 5%)	20-64%

O padrão europeu define e fornece especificações de vários tipos de cimentos reconhecidos, agrupados nas cinco categorias identificadas na Tabela 3 (Supino et al., 2016). As cinco categorias estão associadas ao tipo de propriedade de cada cimento (Shetty, 2006):

- CEM I – É o cimento original, sem adições além de gesso ou pequenas porções de outras matérias-primas. É adequado para o uso em construções de betão em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas;
- CEM II – São os cimentos compostos e apresentam características diferentes de acordo com as adições que são introduzidas. A sua aplicação está mais direcionada para pavimentos de betão, argamassas, revestimentos e na mistura do betão armado;
- CEM III – Na sua constituição é adicionada uma percentagem superior de escória, produto resultante da fusão de certas matérias-primas como hulha ou outros metais. É utilizado em pavimentos e em grandes blocos de betão ou, em obras em ambientes agressivos como pontes ou portos marítimos;
- CEM IV – O cimento pozolânico contém uma quantidade superior na sua mistura de pozolana, concretamente, rochas de origem vulcânica. Esta propriedade confere a capacidade superior de resistir à hidratação e ao desenvolvimento de fendas. A sua aplicação está direcionada para obras onde o fluxo de águas é constante como a construção de barragens;
- CEM V – O cimento de alta resistência inicial é empregue quando é necessária uma alta resistência a sulfatos. A sua constituição não possui aditivos, no entanto, a quantidade de clínquer e de outras matérias-primas possui uma mistura com dosagem particular que lhe atribui

essas características. As suas principais aplicações estão relacionadas com redes de esgoto, ambientes industriais e água do mar onde estão presentes os materiais sulfatados.

Do ponto de vista da produção, contudo, o processo inicia-se na escolha e preparação das matérias-primas. Nesta fase, as matérias-primas, que consistem maioritariamente em calcário e argila, aliadas a pequenas quantidades de carbonato de magnésio, sílica e óxido de alumínio ou ferro, são britadas (Figura 7), pré-homogeneizadas e dosadas (Figura 8) e, posteriormente, moídas. Os dois objetivos fundamentais destas operações são reduzir o tamanho da matérias-primas extraídas e garantir a correta dosagem na combinação dos produtos utilizados (Benhelal, Zahedi, Shamsaei, & Bahadori, 2013).

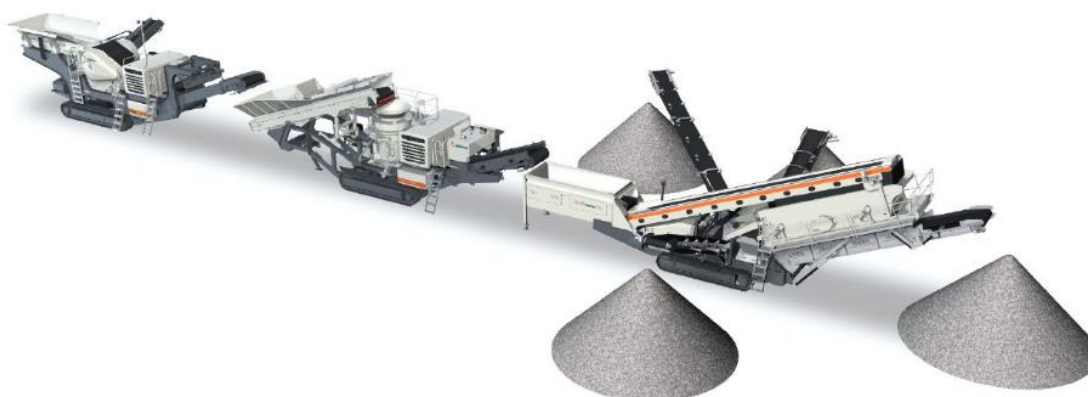


Figura 7 - Processo de britagem



Figura 8 - Armazém de pré-homogeneização e processo de silagem.

Após a afinação da composição e tamanho dos grãos, a mistura é conduzida para a torre de ciclones (Figura 9). Nesta unidade, o material preparado é submetido a um processo de pré-aquecimento com as temperaturas a atingirem aproximadamente os 400°C no topo da torre e 900°C no fundo. Durante este procedimento, o calcário e o carbonato de magnésio começam-se a decompor em carbonato de cálcio

(CaCO_3), em óxido de magnésio (MgO) e em dióxido de carbono (CO_2), ou seja, dá-se a descarbonatação do material e inicia-se a pré-calção (Secil, 2006).



Figura 9 - Torre de ciclones.

De seguida, a mistura já submetida à temperatura de 900°C na torre de ciclones, entra no forno rotativo (Figura 10) e sofre incrementos graduais de temperatura até atingir os 1450°C , altura em que efetivamente adquire o nome de clínquer. Nos intervalos de temperatura até ao valor máximo, dão-se várias reações e transformações que libertam componentes como silicato bicálcico (C_2S), silicato tricálcico (C_3S), aluminato tricálcico (C_3A) e ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) até, no final, o resultado de todas as transformações ser clínquer (Itambé, 2014).



Figura 10 - Forno rotativo e o seu interior.

Posteriormente, o clínquer é arrefecido por ventoinhas elétricas e é transferido novamente para uma unidade de moagem (Figura 11). Nesta fase, os blocos de clínquer são novamente refinados com aditivos

adequados ao tipo de cimento a fabricar e são moídos, processo que dá origem ao cimento como produto final (Chen, Habert, Bouzidi, & Jullien, 2010).

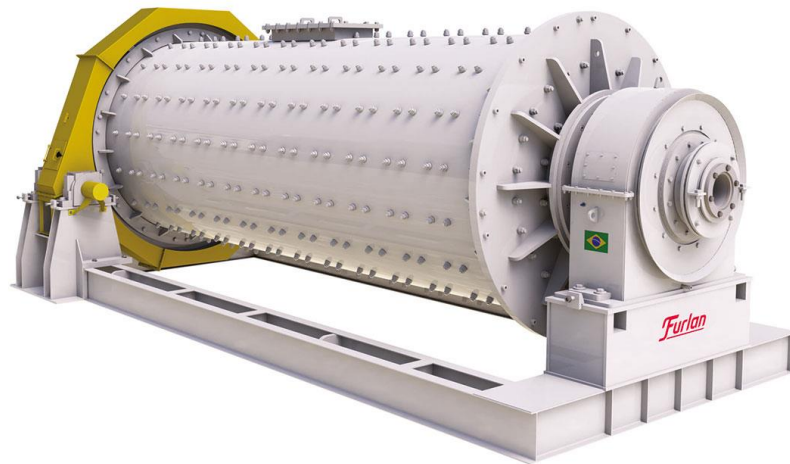


Figura 11 - Moinho de bolas

Durante a execução dos processos anteriormente descritos, é também efetuado um processo de controlo de qualidade que consiste na análise da composição química por raio-x, quer das misturas que são desenvolvidas durante as várias fases, quer do clínquer, quer do cimento. As métricas de controlo pretendem garantir que os rácios de materiais são apropriados ao produto esperado, visto que cada um tem a sua constituição. No mesmo sentido, é também utilizada uma técnica de amostragem, com recolhas automáticas e uniformes ao longo do período definido, no entanto, é um processo complexo que requer uma grande quantidade de tempo (Yin et al., 2016).

Em termos de produção, as diferenças assinaladas no fabrico de diferentes tipos de cimento são inerentes às quantidades e não ao processo base, o que significa que esta maquinaria e procedimentos são os aplicados na generalidade das grandes unidades fabris deste tipo de produto.

2.1.4 Análise do sistema e cadeia logística

Os custos e volumes de transporte dependem de múltiplos detalhes complexos relacionados com questões geográficas, infraestruturas, barreiras administrativas, e especialmente, com a estrutura da indústria de transportes. Neste contexto, cada país possui características próprias que podem ser traduzidas em quatro métricas importantes: quilómetros de estrada disponíveis, quilómetros de estrada pavimentada, quilómetros de linhas ferroviárias e linhas de comunicação disponíveis (Limaço, 2001).

Nesta secção, o objetivo prende-se com o estudo das condições logísticas ideais à indústria cimenteira tais como transportes, infraestruturas e outros fatores relevantes. Como citado anteriormente, o cimento

é um produto de baixo valor acrescentado onde o transporte representa uma grande percentagem do custo final.

A compreensão de todo o processo produtivo interno do cimento impõe algumas questões intuitivas no que se refere ao decorrer da atividade da indústria. Por exemplo, as movimentações *inbound* que são necessárias para garantir quantidades de matérias-primas adequadas ao elevado volume de produção ou a posterior distribuição são duas interrogações chave. No mesmo sentido, existem também fatores que influenciam a localização aquando a decisão da construção da fábrica.

Por conseguinte, a localização ideal de uma fábrica de cimento seria sempre onde a presença de matérias-primas e combustíveis é garantida, mas, evidentemente, nem sempre é possível essa combinação. Do ponto de vista estratégico, sendo o calcário e a argila as principais matérias-primas consumidas, a proximidade a locais de extração é essencial. Contudo, a pressão exercida pela existência de calcário é bastante mais elevada visto que os depósitos de argila ou xisto são comuns em diversas localidades e, mesmo que não existam, geralmente, o seu transporte pode ser executado de forma economicamente viável. Por outro lado, concretamente, a existência de pedreiras e de combustíveis não garante a localização da fábrica visto que têm de possuir características que garantam uma extração barata e quantidades que justifiquem o investimento naquele local específico (Cross, Geography, Jan, & Morrison, 2014).

Em termos de movimentação de produtos, o transporte é um dos elementos mais explícito da cadeia logística nesta indústria. Com exceção da compra de materiais em larga escala, o transporte absorve uma maior percentagem dos custos totais que qualquer outra atividade logística. Na indústria em questão, a funcionalidade desta área está direcionada para duas atividades: movimento de material e armazenagem de material (Ramesh, Baul, & Srinivasan, 2016).

Neste setor de atividade, existem três tipologias de transporte utilizado consoante as características da fábrica: (i) rodoviário, com diferenciação entre o transporte de matérias-primas, materiais ensacados e materiais a granel; (ii) o ferroviário; (iii) e o marítimo (Figura 12). Todos os citados anteriormente podem executar atividades de entrada ou de saída de materiais das fábricas (Kamble, Raoot, & Raut, 2011).



Figura 12 - Tipologia de transportes utilizada na indústria cimenteira.

Analisadas estas características, a comparação com casos reais torna-se apelativa. A ferramenta *Google earth* permite a consulta de imagens em diversas partes do mundo, em diferentes perspetivas, o que permite avaliar a localização de diferentes fábricas em diferentes países.

Como descrito, a indústria cimenteira está estabilizada há bastantes anos, tanto a nível de processos de produção como nas características das instalações fabris. As três fábricas analisadas foram selecionadas devido à partilha de informação por parte da empresa líder do consórcio do projeto, o que facilitou o processo de análise descrito a seguir. As fábricas exploradas estão situadas em Portugal, no Egito e na Albânia e todas têm a intervenção em algum ponto dos seus processos dos sistemas de informação desenvolvidos pela *Cachapuz*. A Figura 13 exhibe a fábrica da Cimpor em Alhandra em Portugal.

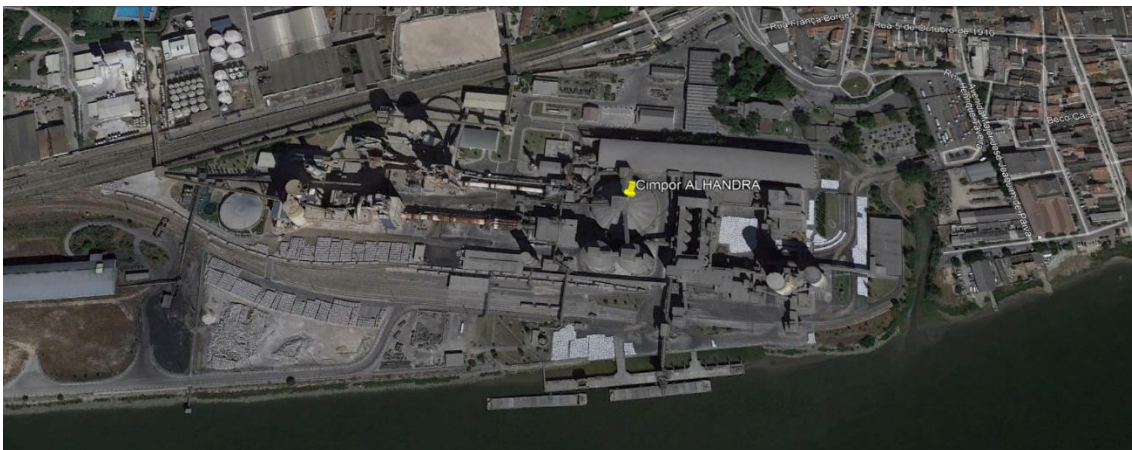


Figura 13 - Fábrica Cimpor Alhandra.

A fábrica de Alhandra, apesar de dimensões reduzidas para o tipo de indústria onde atua, cerca de 800 metros na sua extensão horizontal, possui todas as características descritas na literatura.

Na verdade, o grupo Cimpor foi adquirido pelo grupo *Inter cement*, uma organização brasileira e, nos últimos anos, tem estado em processo de redefinição de estratégias logísticas. Devido à queda da procura no mercado interno Português, o grupo tem como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma de exportação marítima enquanto a alimentação do mercado interno é executada por via rodoviária. Uma das motivações para esta alteração é um elemento logístico, não de Portugal, mas sim do Brasil. De acordo com a organização, é mais competitivo em termos económicos transportar cimento de navio a partir de Portugal para cidades como Manaus e Belém do que executar o mesmo transporte por via rodoviária dentro do Brasil (InterCement, 2013).

De facto, consultando a Figura 13 é possível observar que a localização da fábrica é selecionada de forma a minimizar os custos de transporte. Os acessos rodoviários são de qualidade elevada, elemento garantido pela presença da autoestrada A1 que liga Lisboa ao Porto, apoiados também pela presença de ferrovias internas de forma a facilitar as transações de materiais e matérias-primas, tanto internamente como para o transporte para portos marítimos. As próprias fábricas da Cimpor utilizam estas vias para transportar materiais entre fábricas.

No referente à entrada de matérias-primas na unidade, a Figura 14 ilustra o método utilizado.



Figura 14 – Caminho de acesso a matérias-primas.

No caso da unidade fabril de Alhandra, o transporte de matérias-primas a partir da pedreira é executado por tapetes rolantes (linha a vermelho na Figura 14) que possibilitam uma redução de custos considerável em relação ao transporte rodoviário. A extensão do tapete rolante é de cerca de dois quilómetros. O mesmo trajeto de ida por via rodoviária, ao preço de 1,20€ o litro de gasóleo (a considerar uma média

de 30 litros por cada cem quilómetros) de 0,72 € por cada 20 toneladas (capacidade média de um camião) transportadas, sem considerar o custo do condutor e o desgaste do veículo.

Nos outros dois casos internacionais, a estratégia logística repete-se. Ambas as fábricas se situam próximas de fontes de matérias-primas, garantindo assim o transporte por via rodoviária (Figura 15 e Figura 16).



Figura 15 – Amereyah Cement Plant (Egipto) : Acesso às matérias-primas.



Figura 16 - Titan Antea Cement (Albânia): Acesso às matérias-primas.

No caso Egípcio, as quantidades transacionadas são bastante superiores ao caso Português dado que o principal mercado de atuação é o norte de África. Apesar da focalização no mercado interno, de acordo com informação recolhida internamente, é dos poucos casos que são utilizados camiões com duas cisternas interligadas de forma a maximizar a quantidade transportada em cada viagem. Esta fábrica é dependente do transporte rodoviário tanto nas entradas de matéria-prima como na distribuição dos produtos finais. Adicionalmente, a unidade fabril tem também acesso a um porto marítimo com ligação ao mar Mediterrâneo, a cerca de 45 quilómetros da sua localização sendo que o transporte é também executado por via rodoviária (Figura 17).



Figura 17 - Acesso ao porto marítimo.

No contexto Albanês, representado pela organização *Antea Titan Cement*, o cenário é similar, com a disponibilidade de vias marítimas a cerca de 15 quilómetros de distância. É ainda importante mencionar que a distância entre as duas fábricas é de apenas de 1500 quilómetros (Figura 18), com partilha de vias marítimas. Este facto poderia sugerir a existência de um ecossistema de concorrência, mas, na verdade, em termos de preços, nenhuma consegue penetrar no mercado da rival.



Figura 18 - Localização das duas fábricas.

2.2 Logística

2.2.1 Cadeia logística – Definição, evolução e impacto organizacional

A interpretação de estratégias aplicadas por cada organização relativas ao comportamento na cadeia logística, ou de abastecimento, onde operam, inicialmente, pressupõe a compreensão do próprio conceito. Deste modo, é de especial importância a diferenciação entre cadeia de abastecimento como termo conceptual e gestão de cadeia de abastecimento como atividade corrente nas organizações (Mentzer, Keebler, Nix, Smith, & Zacharia, 2001).

Por conseguinte, a literatura define cadeia de abastecimento, ou cadeia logística, como um sistema de organizações, pessoas, atividades, informações e recursos que integra planeamento, movimentação e armazenagem de produtos ou serviços de um fornecedor para um cliente (Myerson, 2015). Em sintonia, a gestão da cadeia de abastecimento é responsável por promover a eficiência de funcionamento entre os elementos da estrutura definida anteriormente através do controlo de fluxos de materiais e informação, promovendo o correto armazenamento e dimensionamento de inventários, e planeando os transportes e toda a gestão de atividades prévias à entrega, garantindo que o produto final corresponde às especificações e funcionalidades esperadas pelo cliente final (Estampe, Lamouri, Paris, & Brahim-Djelloul, 2010).

Historicamente, o interesse nos sistemas logísticos eclodiu, essencialmente, por motivações militares. A necessidade de transportar tropas e mantimentos em grande volume e para diferentes localizações, promoveu o desenvolvimento de metodologias que permitissem realizar essas atividades da forma mais eficiente possível. Em termos temporais, o apogeu do desenvolvimento de estratégias logísticas encontra-se associado ao período das duas guerras mundiais, com especial centralidade na segunda (1939 – 1945), onde foi mesmo considerado uma vantagem comparativa em condições de combate (Lummus et al., 2001).

Essencialmente, os problemas associados a metodologias operacionais durante a segunda guerra mundial identificavam-se com a correta afetação de recursos. A expansão de uma visão por sistemas para uma visão global do funcionamento de operações e organizações complexas, converteu em necessidade o planeamento de grandes campanhas de forma a promover o uso otimizado das forças militares e das armas disponíveis. No fim da guerra, na Grã-Bretanha, centenas de pessoas estavam alocadas ao sector da análise de problemas táticos e estratégicos, facto que representa a sensibilidade que estas questões tiveram no decorrer da guerra (Fortun & Schweber, 1993). No entanto, num horizonte temporal mais longínquo, a literatura identifica outros desafios logísticos com um impacto

histórico deveras significativo como a expansão de países Europeus, como Portugal e Espanha, para a América ou a construção de pirâmides (Lummus et al., 2001).

Posteriormente, ao longo dos anos, a aplicação do conceito de gestão logística mobilizou-se para a área empresarial dado que, o conhecimento gerado durante os anos de guerra se adequava ao tipo de adversidades que as organizações enfrentavam (Lummus et al., 2001). O seu papel organizacional modificou-se ao longo da sua evolução, sendo possível de identificar vários estágios em diferentes épocas (Rushton, Croucher, & Baker, 2011):

- Anos 50 a primórdios de 1960 – Sistemas de distribuição sem planeamento e sem formulação clara. Os bens chegavam às lojas de forma pouco organizada e a distribuição era executada com recursos a frotas próprias;
- Anos 60 a inícios dos anos 70 – Identificação do conceito de distribuição física como área de gestão. Este fator permitiu o reconhecimento de atividades como o transporte, armazenamento, manuseamento e embalamento de materiais como áreas de análise integrada, promovendo a sua eficiência conjunta. Simultaneamente, foram concebidas as primeiras abordagens relativas a diferentes combinações de envio com o objetivo de aumentar a qualidade do serviço e atingir consideráveis reduções de custos;
- Anos 70 – Confirmação, por parte de algumas empresas, da necessidade de reconhecer a distribuição como departamento funcional da organização. Simultaneamente, a década de 70 foi também responsável por alterações a nível de controlo e estrutura de distribuição devido à transição de poder negocial dos fornecedores e fabricantes para novas e grandes estruturas desenvolvidas pelas maiores cadeias de retalho, com o desenvolvimento de canais próprios;
- Anos 80 – Identificação e definição dos verdadeiros custos de distribuição, a par de um aumento no nível de especialização da atividade. Introdução da visão de longo prazo com o objetivo de procurar reduções nos custos de distribuição através da centralização da armazenagem, da redução de inventário e da informatização dos sistemas de informação e controlo. Verificou-se também, o aumento da subcontratação de serviços de distribuição o que incentivou o investimento no desenvolvimento de equipamentos e tecnologias de informação por parte das empresas subcontratadas, como fator de competitividade. Por fim, surge pela primeira vez o conceito de sistemas logísticos integrados;
- Fins dos anos 80 a inícios dos anos 90 – Associados aos avanços nas tecnologias de informação, as organizações começaram a avaliar perspectivas de outras áreas que podiam ser integradas com a introdução da distinção clara entre a entrada de materiais (entradas) e a sua distribuição

(saídas). Mais uma vez, surgiram novas oportunidade na associação ao aumento qualidade nos serviços ao consumidor com a diminuição de custos de distribuição;

- Anos 90 – O processo de integração foi desenvolvido ainda mais de forma à organização conseguir não só incorporar as suas funções chaves, mas também os serviços subcontratados e todos os serviços que estejam relacionados com o fornecimento do produto ao cliente. Esta integração pressupõe o conceito de gestão de cadeia de abastecimento, onde são reconhecidas várias organizações nas atividades de transposição do produto para o mercado. No mesmo sentido, a disponibilidade para parcerias aumenta e geram-se os canais logísticos que possibilitam um fluxo eficiente até ao consumidor final;
- Anos 2000 até 2010 – A globalização e o aumento da competitividade entre as empresas promoveu a introdução de novos produtos e a tentativa de aumentar os lucros através das operações. Esta situação conduziu ao desenvolvimento da área de reengenharia de processos e de sistemas. A logística e a cadeia de abastecimento foram também reconhecidas como áreas chave para o sucesso do negócio alterando-se o paradigma da visão como um custo que tem de ser minimizado unicamente.

Atualmente, do ponto de vista organizacional, uma gestão da cadeia logística eficiente converteu-se em valor adicional no produto final, revelando-se um fator de vantagem competitiva e aumento de performance organizacional visto que o mercado não compete entre empresas, mas sim entre cadeias de abastecimento (Li, Ragu-Nathan, Ragu-Nathan, & Subba Rao, 2006) . A Figura 19 identifica como a estrutura da gestão logística pode afetar performance e a competitividade das empresas.



Figura 19 – Impactos da estrutura logística na competitividade das empresas (adaptado de (Li et al., 2006)

Segundo Li et al. (2006), no contexto empresarial real, as implicações das práticas enumeradas são:

- Fornecedores estratégicos – A relação de longo prazo entre os fornecedores e a organização. O nível de integração com os diversos fornecedores possibilita o uso de benefícios de mercado em relação aos outros concorrentes;
- Relação com o cliente – As estratégias logísticas definidas pela organização têm como consequência a afetação do cliente final, de forma positiva ou negativa. Os objetivos serão sempre gerir as reclamações dos clientes, construir relações de longo prazo e promover o aumento da sua satisfação;
- Nível e qualidade de informação partilhada – Numa parceria com um membro presente na mesma cadeia logística, a partilha de informação crítica e útil é crucial. Características como a precisão, pontualidade, adequação e credibilidade devem ser garantidas de forma a promover a fluidez das decisões;
- Harmonização – Adequação das operações ou atividades na linha temporal na cadeia de abastecimento tais como o fornecimento, produção ou entrega.

2.2.2 Graus de integração logística

Nos últimos anos, o processo de globalização expandiu as oportunidades de crescimento de vários setores empresariais mundialmente. Por conseguinte, a transação de bens e matérias-primas tornou-se mais complexa, reforçando a importância de definir práticas e estratégias logísticas adequadas para responder rapidamente às oportunidades de negócio. Fatores como a velocidade e a flexibilidade tornaram-se essenciais (Stock, Greis, & Kasarda, 2000).

Nesse sentido, à medida que a sofisticação dessas atividades foi progredindo, o intervalo entre as metas de crescimento das organizações e a sua capacidade de resposta foi também aumentando. Em resposta, as organizações ampliaram as suas atividades através da subcontratação, regularmente reconhecida como *third-party logistics (3PL)*, traduzindo-se na proliferação do papel dos operadores logísticos como agentes na gestão da cadeia logística global (Lai, Li, Wang, & Zhao, 2008).

Na dissertação em questão, a compreensão da tipologia de operações subcontratadas e incentivos associados à sua contratação é fundamental. Atktas et al. (2011) elaborou um questionário precisamente com esse objetivo, dirigido a 500 empresas, na Turquia, com uma taxa de resposta de 57,4%, ou seja, 287 empresas.

A Tabela 4 apresenta a percentagem de empresas por setor de negócio que afirmam utilizar serviços subcontratados.

Tabela 4 – Percentagem de empresas por setor de negócio que utilizam serviços subcontratados.

Setor	Percentagem
Bens de grande consumo (<i>FMCG – Fast moving consuming goods</i>)	19%
Papel e embalagem	12%
Automóvel	12%
Têxtil	11%
Computadores e eletrónica	11%
Construção	11%
Químicos	10%
Farmacêutico	8%
Maquinaria	6%

Posteriormente, as organizações, previamente caracterizadas como consumidoras de serviços subcontratados, são questionadas acerca da frequência e da preferência do seu consumo desta tipologia de serviços. Os resultados sugerem que o setor com maior índice de subcontratação são as atividades relacionadas com transportes. Na realidade de 31 serviços identificados, são 12 os que apresentam uma percentagem de consumo superior a 10%. Dessa amostra, 7 são referentes a atividades de transporte (Tabela 5).

Tabela 5 – Tipo de serviços subcontratados por percentagem de uso atual e planeado

Serviço subcontratado	Percentagem usada atualmente	Percentagem planeada
Transporte rodoviário interno	78%	66%
Transporte rodoviário internacional	63%	64%
Apoio à libertação aduaneira	45%	35%
Distribuição para armazéns de clientes	43%	38%
Transporte em contentores	39%	42%
Distribuição para o cliente final	38%	35%
Transporte aéreo	34%	31%
<i>Bonded Warehouse</i>	27%	25%
Armazéns	20%	18%
Operações de importação e exportação	15%	13%
Operações de Logística inversa	13%	12%
Transportes intermodais	12%	11%

No caso Finlandês, num inquérito conduzido a 299 empresas via *internet*, o cenário revela consistência com os dados do caso na Turquia. Os serviços subcontratados regularmente são associados a funções de transporte sendo que 98% das empresas recorreu a serviços de transporte rodoviário interno em

algum ponto da atividade, ou seja, para execução parcial, e 85% recorreu na sua maioria (Solakivi, Töyli, & Ojala, 2013).

Contudo, a tomada de decisão perante as estratégias que devem ser seguidas é acompanhada por um conjunto de fatores com impactos positivos e outros negativos no âmbito organizacional. Relativamente aos motivos e vantagens da subcontratação, os cinco principais fatores identificados no estudo anteriormente apresentado foram: (i) a flexibilidade nas operações logísticas; (ii) a redução de custos; (iii) o aumento da eficiência nas funções subcontratadas; (iv) a flexibilidade dos custos logísticos; e o aumento da qualidade no serviço prestado ao consumidor (Solakivi et al., 2013).

Por outro lado, as empresas também devem ter em consideração os aspetos desfavoráveis. Neste campo, as particularidades de cada organização individual vão ter um impacto significativo, mas, de um modo generalizado, o risco contrasta com a função controlo. Deste modo, numa entrevista realizada a 19 executivos sénior com uma vasta experiência em contextos de subcontratação, as informações partilhadas indicam 5 elementos centrais a ponderar na avaliação do risco (Sanders, Locke, Moore, & Autry, 2007):

- Capacidade de manter o controlo da tarefa – À medida que a responsabilidade da execução de uma operação é transferida para um fornecedor, a capacidade de manter o controlo diminui. Para pequenas empresas, este fator pode ser especialmente prejudicial dado que o seu poder negocial pode ser bastante reduzido perante o contratado;
- A degradação potencial de capacidades críticas – O sucesso de um negócio está vinculado à capacidade de adicionar valor aos produtos ou serviços. Assim, uma organização deve avaliar a atividade que está a subcontratar e concluir se está a partilhar tarefas que se traduzem em vantagens competitivas perante outras empresas do mesmo setor;
- Risco de dependência – De uma forma generalizada, para beneficiar das economias de escala dos fornecedores, as organizações adequam as suas operações de forma a obterem maiores ganhos neste tipo de relações. No entanto, quando estas operações se convertem em operações altamente customizadas, o risco de dependência aumenta, podendo conduzir a diversos problemas tanto a curto como a longo prazo;
- O risco agrupado – Vários fornecedores desenvolvem economias de escala agrupando necessidades de diferentes clientes, muitas vezes que competem entre si. Os dois riscos a considerar são: (i) o risco de existirem fugas de informação para outros clientes ou trocas de pedidos, particularmente quando consideramos uma tecnologia única ou algum processo especial que representa uma vantagem competitiva; (ii) e o risco de uma competição pelo

serviço do fornecedor, isto é, quando um grande número de clientes compete pelo mesmo serviço e o fornecedor não consegue garantir a execução a todos.

- O risco de custos ocultos – O risco de custos inesperados é uma realidade. O número de variáveis nos acordos de subcontratação potencia a oportunidade de o cliente omitir, exceder ou subestimar muitos custos. Entre eles, as omissões de tarefas importantes no contrato que depois são cobradas como custos adicionais ou a contratação de um volume de caminhões, por exemplo, inferior aos necessários e posteriormente coletados como serviços extra pelo fornecedor. No caso de subcontratação a nível internacional, a utilização de tecnologias de comunicação adicionais e o tempo consumido em gestão de burocracias e avaliação de legislação, podem incrementar fortemente os custos.

2.2.3 Estratégias de decisão, distribuição e variáveis

As mudanças no universo da distribuição incentivaram o desenvolvimento de um mercado especializado na sua gestão, com competências em várias áreas como localização, estrutura, desenho e operações de centros de distribuição (Mason-Jones D.R., 1999).

Contudo, as estratégias a empregar pelas organizações são de responsabilidade própria. A compreensão da estrutura estratégica interna possibilita um potencial de análise de problemáticas relativas às estruturas logísticas de nível tático e operacional como decisões de níveis de inventário ou de transportes (Arikan, Fichtinger, & Ries, 2014). Nesse sentido, é necessária uma clara percepção desses níveis de decisão presentes dentro da organização.

De acordo com Gunasekaran et al. (2004), a hierarquia de gestão está dividida em três níveis sendo eles: (i) nível estratégico; (ii) nível tático; (iii) e nível operacional. O primeiro reflete a influência que as decisões da gestão de topo provocam na performance da organização, muitas vezes baseando-se na investigação de métricas da base organizacional como as políticas aplicadas, planos financeiros corporativos e competitividade na indústria. O nível tático lida com a alocação de recursos e com as medidas indicativas que permitem afirmar o cumprimento ou não dos objetivos definidos pelo nível estratégico. Por último, o nível operacional é que o que requisita informação mais interligada com a rotina da organização para garantir o cumprimento de objetivos de produção, sejam serviços ou bens físicos (Gunasekaran et al., 2004). A Figura 20 ilustra o processo de decisão da gestão partilhado por todos os níveis.

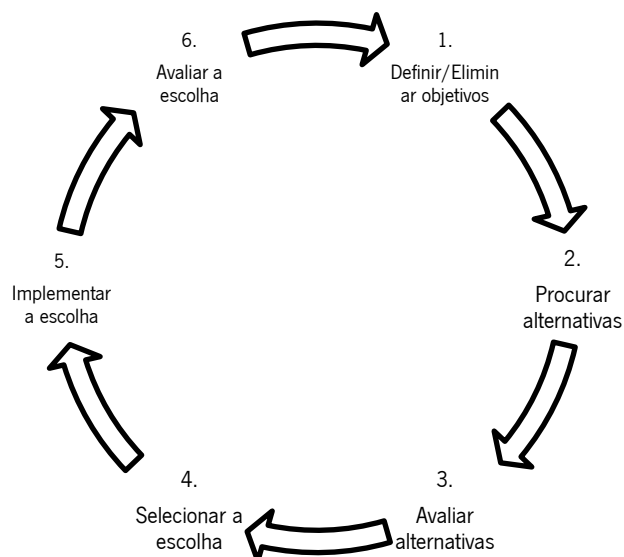


Figura 20 – Representação do processo de decisão (adaptado de (Bilgen et al. (2004))

No horizonte temporal, o nível estratégico refere-se a decisões com efeitos no longo prazo, ou seja, com implicações na empresa após períodos superiores a 1 ano, enquanto no nível tático são consideradas as ações com efeito a médio prazo onde a linha de planeamento é relativa a alguns meses. Por fim, a nível operacional, as decisões são tomadas com visto no curto prazo, basicamente, a par da atividade corrente da empresa (Bilgen & Ozkarahan, 2004). A Tabela 6 sugere algumas atividades que situam os níveis de decisão com as operações da empresa.

Tabela 6 - Níveis de gestão e responsabilidades.

Nível de Gestão	Decisões
Estratégico	<ul style="list-style-type: none"> - Escolha da localização de instalações; - Definição das tecnologias de produção; - Planeamento das capacidades das fábricas; - Desenvolvimento de alianças estratégicas.
Tático	<ul style="list-style-type: none"> - Definição da política de fluxo de materiais; - Determinar políticas de montagem ou produção; - Decretar níveis de inventário e tamanho de lotes; - Execução do planeamento de matéria-prima necessária; - Analisar funções de transporte.
Operacional	<ul style="list-style-type: none"> - Agendamento de operações; - Assegurar a entrega ao consumidor em tempo útil; - Definição das configurações de produção.

No interesse da presente dissertação, uma averiguação das várias estratégias de distribuição é também essencial. O conceito estudado pressupõe uma interligação entre políticas de inventário e transporte, dois fatores que estão intrinsecamente relacionados, não sendo possível uma análise realista e assertiva sem considerar os impactos bilaterais.

Assim, na distribuição de um produto, a literatura sugere três estratégias principais que podem ser utilizadas: (i) Expedição direta; (ii) armazenagem, conceito reconhecido por *warehousing*; (iii) e por último, *crossdocking* (Ghiani & Laporte, 2004). A Figura 21 ilustra a base de cada uma destas estratégias.

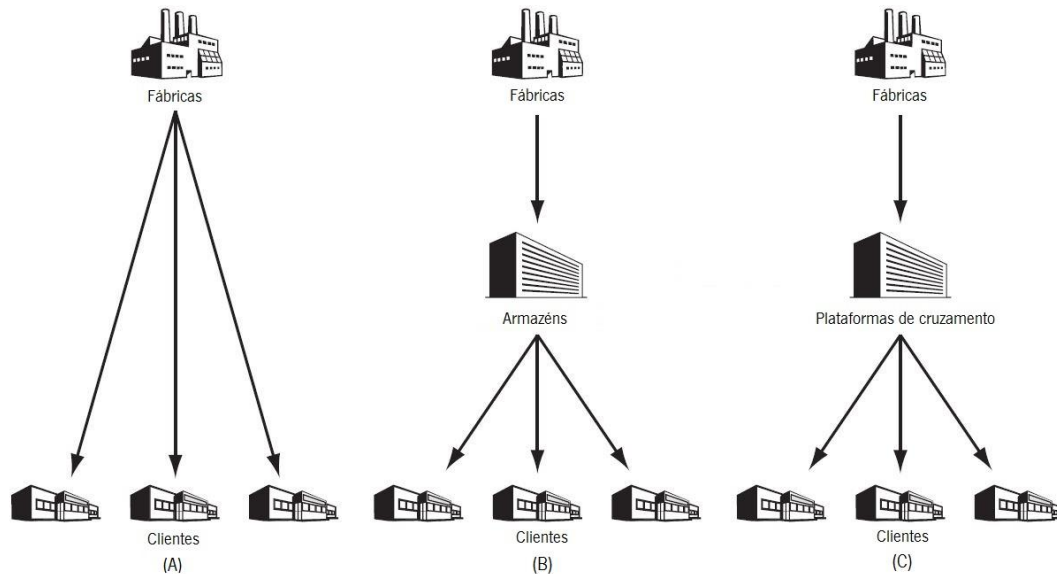


Figura 21 - Estratégias de distribuição: (A) Expedição direta; (B) Warehousing; (C) Crossdocking. (adaptado de (Rushton, Croucher, & Baker, 2011)).

No referente à estratégia de expedição direta, pressupõe-se que os produtos são distribuídos das fábricas ou fornecedores diretamente para os clientes, sendo clientes uma representação generalista dos vários tipos existentes como retalhistas ou simplesmente um comprador final. Este sistema de distribuição física, origina geralmente, *vehicle routing problems* (Hsu & Tsai, 1999). Este tema é explorado no subcapítulo 2.2.4.

Neste caso, a abordagem sugerida a problemas desta estirpe engloba a resposta a 4 perguntas fundamentais (Eskigun et al., 2005):

1. Onde deve ser a localização dos centros de produção?
2. Qual a capacidade que os veículos responsáveis pelo transporte dos produtos devem ter?
3. Qual o tipo de transporte que deve ser utilizado para colmatar a procura nos diferentes pontos de entrega?
4. Qual o agendamento mais eficiente e volumes que devem ser transportados?

As principais vantagens na utilização desta estratégia são a eliminação de custos de operações com centros de armazenagem e tempos de entrega eficientes. Por outro lado, se um cliente requer uma encomenda de volume reduzido ou os diferentes clientes estão dispersos geograficamente, pode ser necessário uma grande frota de veículos para colmatar a sua procura. Assim, esta estratégia é utilizada essencialmente quando as encomendas esgotam a capacidade máxima de transporte dos veículos utilizados, ou quando os produtos a entregar são de grande importância e têm de ser entregues em janelas temporais independentes e sem possibilidade de associação com outros parceiros ou encomendas (Ghiani & Laporte, 2004).

Na estratégia de armazenagem, tipicamente, os armazéns recebem mercadorias de fornecedores ou produtores e são responsáveis pela preparação e entrega a outros clientes que podem ser distribuidores, consumidores finais ou outros produtores, por exemplo, no caso de serem produtos intermédios. São identificadas três funções básicas associadas a um centro de armazenagem (Govindaraj et al., 2000):

- Acondicionamento e preparação de quantidades relativas aos produtos pretendidos pelos clientes;
- Sincronização de encomendas, com preparação de diferentes conjuntos de produtos se necessário, e garantir a gestão dos fluxos de entrada e saídas de produtos para os clientes;
- Adicionar valor através do correto embalamento, rotulagem e montagem quando requerido.

Sendo um sistema complexo, do ponto de vista organizacional, a possibilidade de medir a qualidade do serviço é obrigatória pelo facto da reputação em causa ser do produtor e não do distribuidor. Por conseguinte, as quatro métricas sugeridas são: (i) número de encomendas entregues com o correto dimensionamento em termos de quantidades; (ii) número de produtos danificados no transporte; (iii) pontualidade de entrega; (iv) e número de encomendas com a correta documentação associada (Longenecker & Scazzero, 2000). Em termos de incentivos e vantagens, os armazéns eram vistos como uma maneira de poupar dinheiro, principalmente no transporte. No entanto, no presente, a utilização de armazéns está integrada nas estratégias das organizações, principalmente quando falamos de grandes volumes e de grande diversificação de produtos (Ezziane, 2000).

Por último, a estratégia de *crossdocking*. A sua base partilha características com o *warehousing*, no entanto, é eliminado o princípio da armazenagem. Fundamentalmente, *crossdocking* é uma atividade logística que consolida encomendas provenientes de veículos de transporte para outros veículos de transporte em edifícios ou estruturas chamadas de plataformas de cruzamento. Em cada plataforma, cada veículo, tipicamente, chega de uma origem diferente com cargas ou mercadorias para diferentes destinos. Estes são depois descarregados o mais rapidamente possível e posteriormente ordenados,

consolidados e novamente carregados na estrutura ou veículo responsável pela sua distribuição. Todo este processo é completado em menos de um dia, dependendo do tipo de mercadoria, com pouco ou mesmo nenhum inventário na plataforma utilizada (Yang, Balakrishnan, & Cheng, 2010).

A nível operacional, as principais dificuldades identificadas são relativas a problemas de agendamento, a questões de transbordo entre veículos, à adequação das plataformas aos tipos de mercadoria e veículos, a problemas de rotas e à alocação dos produtos. De importância relevante é o problema de agendamento, visto que a sequência correta das operações se traduz num funcionamento eficiente do fluxo logístico de transporte desde a fábrica até ao cliente (Agustina, Lee, & Piplani, 2010).

2.2.4 Agendamento e escalonamento

A investigação em problemáticas de agendamento e planeamento tem obtido um maior interesse desde os anos 50. Nesta classe, é considerado um novo desafio de integração de eventos dinâmicos com informação estocástica sobre a possibilidade de eventos futuros (Ritzinger, Puchinger, & Hartl, 2016).

Regularmente, estes problemas acentuam-se pelo facto de diferentes departamentos das organizações deterem problemas na partilha de informação por questões de estrutura ou pessoais. Este fenómeno tende a desaparecer com o desenvolvimento dos sistemas de planeamento de recursos das empresas pois estes forçam a partilha da informação porque, por definição, a informação está disponível numa única base de dados. Por exemplo, numa organização, o departamento de *marketing* com a consulta a um destes sistemas (encontram-se vários no mercado, no entanto, o SAP é o mais implementado), pode coletar informação sobre os clientes e as previsões futuras, estabelecer um plano de produção e traduzir a informação para o departamento de gestão de material ou compras (Dauzère-Pérès & Lasserre, 2002). No âmbito em questão, podemos encontrar diferentes tipologias de desafios. No caso da produção, como anteriormente foi averiguado, o objetivo será sempre interligar o sequenciamento das operações com a chegada, em tempo útil, dos materiais. Porém, a mesma tipologia de questões de agendamento e escalonamento são associadas na literatura a casos de planeamento de condutores, descarregamento de contentores ou *vehicle routing problems* (VRP). Neste secção da análise de literatura será dada especial atenção a uma introdução aos problemas de VRP.

Historicamente, de acordo com Lahyani et al. (2015), a primeira interpelação ao conceito de VRP foi formalmente apresentado em 1959 por George Bernard Dantzig. A sua carreira profissional foi marcada pela passagem no departamento de controlo estatístico de combate, lugar que ocupou após o ataque de *Pearl Harbor*, e pela integração no pentágono como consultor matemático, ambas ao serviço da força aérea americana. As suas funções de trabalho eram relativas à mecanização de procedimentos de

planeamento para suportar treinos e atividades de fornecimento, fator que incentivou o desenvolvimento do algoritmo simplex (Cottle, 2006).

Na sua forma mais simples, o objetivo do seu primeiro trabalho "*Traveling-Salesman Problem*" era determinar a rota mais curta que passasse por todos os clientes (representados por n pontos). Neste caso particular, mesmo para pequenos valores de n , como por exemplo $n=15$, o número total de rotas distintas era de 653,837,184,000 (Dantzig & Ramser, 1959). Atualmente, além da formulação clássica do problema, encontramos um grande número de variantes com restrições adicionais (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013):

- *Capacitated VRP* – Cada cliente tem procura por um bem e os veículos têm capacidade limitada;
- *VRP with Time Windows (VRPTW)* – Cada cliente tem de ser visitado numa janela temporal específica;
- *VRP with Pick-up and delivery (PDP)* – Os produtos têm de ser recolhidos e entregues em quantidades específicas em cada vértice da matriz de rotas;
- *Heterogeneous fleet VRP (HVRP)* – Os veículos possuem diferentes capacidades de transporte.

Adicionalmente, também são mencionados VRP que envolvem a movimentação de pessoas entre localizações que são referidos como *Dial-A-Ride-Problem (DARP)* para problemas em terra ou *Dial-A-Flight-Problem (DAFP)* para problemas de transporte aéreo (Pillac et al., 2013).

No entanto, muito conhecimento tem sido produzido no contexto da otimização para problemas de agendamento de rotas. Dessa forma, a generalização do problema e a definição de uma linguagem que se adeque ao problema estudado pode facilitar esse processo, através da abordagem ao problema em quatro campos (Desrochers, Lenstra, & Savelsbergh, 1990):

1. Descrição das características e restrições, singularmente, relevantes para as localizações em estudo. O termo localizações é usado devido à existência com o intuito de englobar os vários tipos, clientes, locais de armazenamento, locais de partida, ..., etc;
2. Especificação das características relativas aos veículos;
3. Caracterização dos problemas partilhados entre os vários intervenientes;
4. Definição de uma ou mais funções objetivo.

Apesar da otimização ser um eficiente método de resolução, o tópico seguinte sugere ferramentas de apoio à decisão que se podem associar às estratégias utilizadas ou expor fragilidades das soluções implementadas.

2.2.5 Métodos de suporte à decisão

A incorporação do conceito de gestão de cadeia logística no funcionamento das organizações implica a consideração simultânea de fatores económicos, ambientais, métricas de qualidade do serviço, quantidades, gestão de transporte, entre outras. Neste sentido, subsiste uma pressão crescente para a utilização de métodos de suporte à decisão capazes de lidar com a competição crescente dentro das indústrias e com aptidão para substituir ferramentas ou processos simples, como o uso de folhas de cálculo, por técnicas mais versáteis (Clausen, Robert, & Barbosa-póvoa, 2017).

Nessa perspetiva, o recurso a métodos quantitativos é essencial sendo que, a investigação na área de operações faculta uma variedade de ferramentas de planeamento. No entanto, aliado a esses métodos, a literatura sugere três importantes abordagens de suporte à decisão: (i) *benchmarking*; (ii) otimização; (iii) e simulação (Ghiani & Laporte, 2004).

A perceção base da técnica de *benchmarking* consiste na pesquisa das melhores práticas numa determinada indústria comparando, posteriormente, o quadro de ações entre as diversas organizações de forma a posicionar cada uma de acordo com um conjunto padrão de indicadores. Esta técnica proporciona uma maneira simples e compreensiva de análise de dados para o suporte à tomada de decisão (Demertzidis, Tsalis, Loupa, & Nikolaou, 2015).

O exemplo considerado foi um caso na indústria hospitalar relativo à reabilitação de lesões na medula espinal. Sendo um processo de longa duração e com um nível de dificuldade deveras considerável, este é reconhecido por ser monetariamente dispendioso, assim como pelo uso intensivo de recursos. O exercício de *benchmarking* foi desenvolvido através do uso de dados do Instituto Canadano de Informação de Saúde, provenientes de unidades de saúde dispersas por todo o território Canadano, com o objetivo de analisar os tempos de internamento e recuperação. Através do uso dessa informação foi possível categorizar os doentes por natureza da lesão (neurológica, traumática ou não traumática), nível de independência de movimentos e idade, e dessa forma, executar uma previsão para o tempo de internamento e recuperação (Tabela 7).

Tabela 7 – Resultados da categorização de doentes.

Categoria	Nível de independência	Idade	Tempo de internamento esperado
Neurológica	12 – 32	Não aplicável	56 dias
	33 – 55	Não aplicável	31 dias
	56 – 74	Não aplicável	30 dias
	75 – 84	Não aplicável	20 dias
Traumática	12 – 16	Não aplicável	125 dias
	17 – 41	≥ 31 anos	83 dias
	14 – 41	≤ 30 anos	92 dias
	42 – 84	Não aplicável	44 dias
Não traumática	12 – 28	Não aplicável	76 dias
	29 – 54	≥ 51 anos	46 dias
	29 – 54	≤ 50 anos	63 dias
	55 – 72	Não aplicável	29 dias
	73 – 84	Não aplicável	23 dias

Adicionalmente, foi também concebida uma árvore de decisão que inclui critérios de decisão de despiste com o intuito de apoiar o processo de ação e normalizar os procedimentos no decorrer da atividade hospitalar. Deste modo, foi possível incrementar a qualidade do programa nacional de saúde e reduzir os tempos de internamento, e por associação, custos de operação (Burns, Yee, Flett, Guy, & Cournoyea, 2013).

No seu conceito simplificado, a otimização é o procedimento de procurar o valor máximo ou mínimo de uma função através da seleção de uma série de variáveis, sujeitas a um conjunto de restrições. Por conseguinte, os métodos de otimização podem ser aplicados a um leque variado de problemáticas, contudo, a seleção do algoritmo de otimização depende sempre do tema que é proposto (Machairas, Tsangrassoulis, & Axarli, 2014). Todavia, uma vasta classe de decisões logísticas como planeamento da produção, decisões de localização, *vehicle routing problems* e agendamento só podem ser modelados em programação inteira ou em programação inteira mista, traduzindo-se este facto num processo de obtenção de uma solução de elevado grau de complexidade. Este facto levou ao desenvolvimento de métodos heurísticos, ou seja, aprovizionam uma boa solução mas não necessariamente a melhor (Ghiani & Laporte, 2004). Os problemas de VRP apresentados no tópico anterior representam problemas de otimização.

A simulação é o núcleo da corrente dissertação e será analisada na secção subsequente na sua configuração teórica e, posteriormente, será aplicada no Capítulo 3 em contexto prático.

2.3 Simulação

2.3.1 Definição de simulação

A simulação e as ferramentas de modelação converteram-se em instrumentos com uma elevada importância na indústria com especial impacto nas áreas de desenho de layouts e na simulação de operações (P. Basán, E. Cóccola, & A.Mendez, 2014).

Contudo, o conceito de simulação como termo extensível a diversas áreas está presente no quotidiano da sociedade e não necessita de deter uma base computacional. Aparelhos como consolas de jogo simulam um leque variado de atividades, permitindo-nos testar as aptidões como condução, construção ou pensamento. Por outro lado, um simples veículo de controlo remoto ou um modelo em escala de uma linha de comboio são exemplos de simulações físicas. Basicamente, simulação, no seu conceito mais geral, é uma imitação de um sistema, com a particularidade de que, na versão computacional e dinâmica, o sistema é imitado no seu comportamento ao longo do tempo (Robinson, 2004). Concretamente, de acordo com McHaney (2005), “a simulação computacional refere-se à utilização de um computador para imitar as operações de um processo no mundo real ou de uma estrutura de interesse, de acordo com pressupostos previamente estudados e representados de uma forma lógica através de relações matemáticas, incorporando as mesmas num modelo”.

Fundamental, é também a compreensão do que é um sistema no seu sentido abstrato. Um sistema é um conjunto de métodos detalhados ou procedimentos concebidos para realizarem uma determinada atividade ou resolver um problema e são constituídos por uma agregação de elementos (pessoas, máquinas, eventos...) que se influenciam mutuamente. Na visão da simulação, o estado desse sistema pode ser definido pela evolução do seu comportamento no horizonte temporal, sendo alterado pela ocorrência de eventos (C. D. Pegden, 2010). No entanto, o local onde essas alterações são representadas tem de ser arquitetado.

Assim, não existe simulação sem modelação. A modelação é o processo de representar a construção e o funcionamento de um sistema de interesse num ambiente possível de ser estudado. Geralmente, a base desse ambiente é suportada, como anteriormente foi citado, por modelos matemáticos que podem ser classificados como determinísticos, ou seja, as variáveis de *input* e *output* são valores fixos, ou estocásticos, isto é, pelo menos uma variável utilizada é probabilística. Outra classificação importante é o posicionamento no horizonte temporal sendo que podemos desenvolver modelos estáticos onde o tempo não é considerado ou modelos dinâmicos onde a interação temporal entre as diferentes variáveis é estudada. É característico na simulação que os modelos sejam estocásticos e dinâmicos (A. Maria,

1997). Na Figura 22 encontra-se representado o processo de simulação proposto por Fowler et al. (2004).

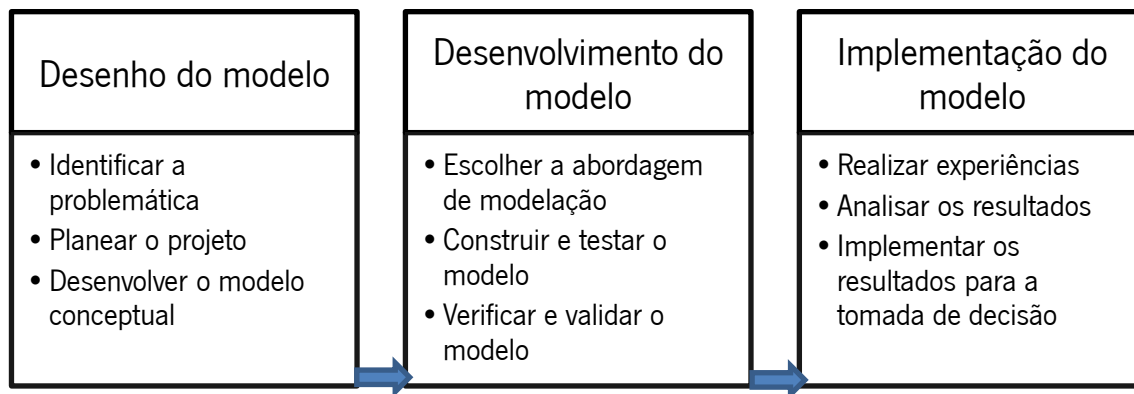


Figura 22 - Processo de abordagem à simulação (adaptado de (Fowler et al. (2004))

Na primeira fase, os agentes participantes são identificados e os objetivos do projeto bem definidos. Se estas atividades não são desenvolvidas de forma precisa, provavelmente, o modelo construído também não será muito detalhado. Por outro lado, adicionar demasiados pormenores ao modelo pode convertê-lo num elemento difícil de construir, corrigir, compreender, implementar e manter no futuro. Posteriormente, o desenvolvimento do modelo prevê a escolha da abordagem ao problema a seguir no processo simulação tendo este fator um grande impacto na tipologia de construção e no tempo de execução dos modelos. Neste ponto, são também de séria importância a verificação, ou seja, garantir que o modelo funciona de forma correta e lógica, e validação do modelo. A validação, ao contrário da verificação pretende garantir que o modelo representa de uma forma precisa o sistema real em estudo (Song & Eldin, 2012). Na última fase, a principal área de atuação é a execução do modelo. As simulações de sistemas complexos podem demorar várias horas apenas numa replicação. No contexto da análise de resultados, a geração automática de gráficos e de relatórios pode proporcionar uma poupança de tempo considerável. Na tomada de decisão, o julgamento do gestor é crítico e é sua responsabilidade decidir se as medidas propostas são implementadas (Fowler & Rose, 2004).

2.3.2 História e orientação da simulação

Historicamente, a primeira consideração ao conceito de simulação está associada à realização de um estudo idêntico ao método de Monte Carlo (autenticado em 1947), desenvolvido por Comte de Buffon, que tinha como objetivo o cálculo da probabilidade de uma agulha ultrapassar uma linha numa folha de papel listada através da repetição dos lançamentos, evidenciando o conceito de experiência. Cerca de um século após, foi usado por Gosset um método manual primitivo de simulação para verificar o

pressuposto da exata forma da distribuição *t-student*. Contudo, foi em meados de 1950 que o primeiro simulador computacional, desenvolvido por Tochter e Owen e apelidado de “*General simulation program*”, foi desenvolvido com o propósito de simular fábricas industriais, incluindo elementos como máquinas, ciclos e estados de funcionamento. A partir de 1960 várias programadas apareceram como o *GPSS*, *SIMULA*, *GASP* e *SIMSCRIPT*, entre outros, e iniciou-se o desenvolvimento de novas soluções com novas orientações e linguagens (Mourtzis, Doukas, & Bernidaki, 2014).

Nos primórdios da simulação de eventos discretos, o paradigma era a orientação para os eventos. Neste tipo de modelação, o sistema é visto como uma série de eventos instantâneos que mudam o estado do mesmo, isto é, o programador define os eventos confrontando a realidade e modela as alterações que ocorrem. Esta abordagem à modelação é muito flexível e eficiente, mas é também uma representação abstrata do sistema, fator que levou muitos utilizadores a considerarem difícil a sua aplicação. Nos anos 80, a orientação para o processo passou a ser a técnica dominante. Nesta metodologia, o fluxo de processo é simulado através da passagem de entidades passivas pelo sistema, por exemplo, tábuas de madeira a passarem pelo processo de corte. O fluxo de processos é descrito por uma série de passos através de ordens programadas como a entrada no processo, a execução do processo ou a saída do processo (C. D. Pegden, 2007).

Devido ao sucesso desta abordagem, a modelação gráfica e as animações também surgiram como características requisitadas nas ferramentas de simulação. A construção de modelos gráficos simplificou a compreensão de modelos com orientação ao processo assim como as animações incentivaram a facilidade de visualização e a validação de resultados. Daí, a introdução do conceito de modelação orientada para objetos. Um objeto pode ser uma máquina, um robot, um navio ou outro elemento incorpore o sistema em estudo. Este tipo de modelo é desenvolvido através da representação das interações entre os objetos traduzindo-se o resultado final num ambiente visualmente parecido com a realidade (Vieira, Dias, Pereira, & Oliveira, 2010).

Consequentemente, a escolha do software certo para o estudo é um elemento crítico. Os quatro fatores mais importantes para avaliar as competências de simulação são: (i) a capacidade de reconhecer e representar o tempo da simulação, das operações e de todos os acontecimentos no sistemas; (ii) a representação dos custos através da capacidade de atualizar e calcular custos a par da simulação; (iii) a capacidade gráfica e de animação, de forma a facilitar a análise visual; (iv) e a disponibilidade de várias distribuições estatísticas, ponto-chave na tradução da realidade para a simulação (Cheung & Bal, 1998). Desta maneira, após a análise da revisão de literatura, o *software* escolhido para a realização do estudo

proposto nesta dissertação foi o *Simio*, tanto pelas capacidades que lhe são reconhecidas (Dias, Vieira, Pereira, & Oliveira, 2017) como para efeitos educacionais.

O *Simio* é uma ferramenta de simulação que se baseia na orientação para o objeto. Este facto, associado a uma capacidade de lidar com a informação de uma maneira matematicamente interpretativa, transmite uma sensação de capacidade de modelação visual perante a realidade e de compreensão do sistema bastante elevada. Adicionalmente, permite o desenvolvimento do projeto com visualização 3D o que facilita, posteriormente, a análise de resultados com elementos decisores não habituados a ambientes de simulação. O apoio a esta competência está suportado também pelo facto de, no final de cada experiência, existir a geração de um relatório com os valores das variáveis de estudo e os impactos que se fizeram sentir em cada cenário simulado (Zhang, Wu, Ning, Zhang, & Du, 2011). No Capítulo 3 irá ser demonstrada a conjuntura do programa em pormenor a par do desenvolvimento dos modelos.

2.3.3 Vantagens e desvantagens

Num mundo em constante mudança, as empresas têm poucas opções de reduções de custo que simultaneamente impulsionem a sua performance. A capacidade para identificar essas oportunidades possibilita reduções de custos mantendo-se os mesmos níveis de qualidade, sendo o objetivo final o aumento da eficiência e a normalização de operações (Brown & Sturrock, 2009). Neste contexto, a presente secção é responsável pela exposição de vantagens e desvantagens da utilização do *Simio* como ferramenta de simulação, identificadas na literatura.

Na literatura, são cada vez mais os casos partilhados e disponibilizados de intervenções que recorreram à simulação como filosofia. Desta forma, a ampla área de atuação e as diferentes indústrias onde é utilizado este procedimento permitem uma visão sustentável sobre quais os verdadeiros desafios e questões a melhorar assim como os verdadeiros benefícios assinalados.

Deste modo, a Tabela 8 identifica a referência, área de atuação e vantagens que foram sinalizadas pelos autores na sequência dos trabalhos.

Tabela 8 - Vantagens da utilização do Simio.

Referência	Área de atuação	Vantagens
Brown & Sturrock, (2009)	Indústria de aquecimento, ventilação e ar condicionado	- Testar hipóteses sem causar distúrbios nas operações da empresa;
P. Basán, E. Cóccola, & A.Mendez, (2014)	Indústria de bebidas – Linha de embalagem de cerveja	- Nível de customização permitido na fase de modelação; - Ferramenta poderosa para analisar e desenhar sistemas complexos; - Auxílio à identificação de <i>bottlenecks</i> - Assistência ao planeamento de longo prazo;
Vik, Dias, Pereira, Oliveira, & Abreu, (2010)	Indústria cimenteira	- Lidar com condições não determinísticas de decisão de rotas; - Capacidade de demonstrar como as decisões táticas podem ser implementadas no nível operacional; - Aptidão para gerir informação de fluxos logísticos enormes; - Possibilidade de utilização de objetos da biblioteca <i>standard, google warehouse</i> ou de desenvolvimento próprio.
Georgia & Stamatis, (2013)	Indústria marítima	- Tecnologia 3D integrada num ambiente imersivo; - Testes de cenários poupando tempo e dinheiro; - Modelos com as dimensões à escala real;
Song & Eldin, (2012)	Indústria da construção	- Redução de risco de agendamento e financeiro; - Representação sequencial de eventos cronológicos; - Apoio à execução do projeto com a comparação ao planeamento inicial;

Em contraste, também existem barreiras e desvantagens. Do ponto de vista da utilização, um elevado número de testes ao *software* em universos distintos é um esforço necessário para a sua validação no mercado e é igualmente uma oportunidade de sinalização de aspetos que necessitam de ser averiguados (Barr, Harman, McMinn, Shahbaz, & Yoo, 2015). Na Tabela 9 estão expostas as principais desvantagens.

Tabela 9 - Desvantagens da utilização do Simio

Referência	Área de atuação	Desvantagens
Schriber & Brunner, (2005)	Investigação de <i>softwares</i> de simulação	- As experiências de simulação podem consumir muito tempo de computação quando são modelados sistemas complexos;
Fowler & Rose, (2004)	Investigação da simulação na indústria de manufatura	- Limitação de capacidade, em tempo real, de métodos de resolução de problemas; - Convencer gestores a financiar projetos de simulação invés de métodos como <i>lean manufacturing</i> ou <i>six sigma</i> ;
Smith & Nelson, (2015)	Indústria aeronáutica	- Limitações no curto prazo: Necessidade de tempos específicos e não de previsões - Interpretação de variáveis por parte do utilizador pode conduzir a más decisões;
Aksyonov, Bykov, Aksyonova, Goncharova, & Nevolina, (2015)	Investigação de <i>softwares</i> de simulação	- Baixa integração com os sistemas de informação corporativos; - Não produz sugestões para a remoção de <i>bottlenecks</i> ; - Elevado custo de investimento na aquisição de licenças;
Zheng, Shen, Liu, Fang, & Xiang, (2011)	Indústria hospitalar	- Questões éticas; - Necessidade de conhecimentos profundos sobre os processos simulados;

2.3.4 Análise de casos de estudo reais

A educação universitária em engenharia de software tem como função a instrução de conceitos teóricos sólidos com a adição de métodos técnicos competentes. O seu objetivo é proporcionar conhecimento com a experiência prática dos tópicos estudados. Dessa forma, a análise de cenários do mundo real como casos de estudo fornece uma base robusta para a abordagem a desafios com características partilhadas (Daun, Salmon, Tenbergen, Weyer, & Pohl, 2014).

O objetivo deste capítulo é identificar comportamentos e ações que contribuíram, tanto de forma positiva como negativa, nas abordagens a problemáticas que recorreram à simulação como filosofia de trabalho e ao *SIMIO* como ferramenta. Os principais fatores a analisar são o que foi simulado e como, o seu objetivo e as funções e variáveis chave em cada estudo.

O primeiro caso de estudo analisado é referente a uma fábrica de cimentos na Índia, conteúdo com particular interesse nesta dissertação. Ao contrário dos outros dois casos posteriormente explorados, este está diretamente ligado ao conceito de reengenharia de processos e não ao uso da simulação. A reengenharia de processos é a área responsável pelo estudo e reconstrução de práticas e procedimentos aplicados pela empresa, com o objetivo de obter melhorias em métricas como o custo, qualidade e nível de serviço (Johansson, McHugh, Pendlebury, & Ill, 1993). No entanto, as duas áreas complementam-se nos seus objetivos como sugere o subcapítulo 2.2.5, onde a simulação é apresentada como um método de suporte à decisão.

Neste enquadramento, a organização observada é caracterizada por um crescimento económico agressivo, economias de escala e grande capacidade produtiva. Uma das características chave no estudo foi a verificação das instalações nas imediações da fábrica como a proximidade ao local da recolha de matéria-prima. Apesar desse facto, o ponto ferroviário mais próximo está localizado a mais de 100km o que sinaliza que a fábrica é totalmente dependente do transporte rodoviário para a logística interna e externa (Kamble, Raoot, & Raut, 2011).

Os problemas identificados estão intrinsecamente relacionados com as movimentações citadas no parágrafo anterior. O fluxo de um elevado número de veículos juntamente com a movimentação dos trabalhadores dentro e fora da fábrica contribui para a congestão de tráfego no interior das instalações, aumentando o tempo de ciclo dos camiões, para carregamentos ou descarregamentos, e muitas vezes obrigando ao encerramento de linhas de carregamento de cimento ensacado (Kamble et al., 2011).

A estratégia seguida para a abordagem aos problemas é partilhada com a visão proposta por MacArthur et al. (1994), isto é, a sugestão de um conhecimento intensivo dos processos da organização de forma a mapear as relações entre eles (Figura 23).

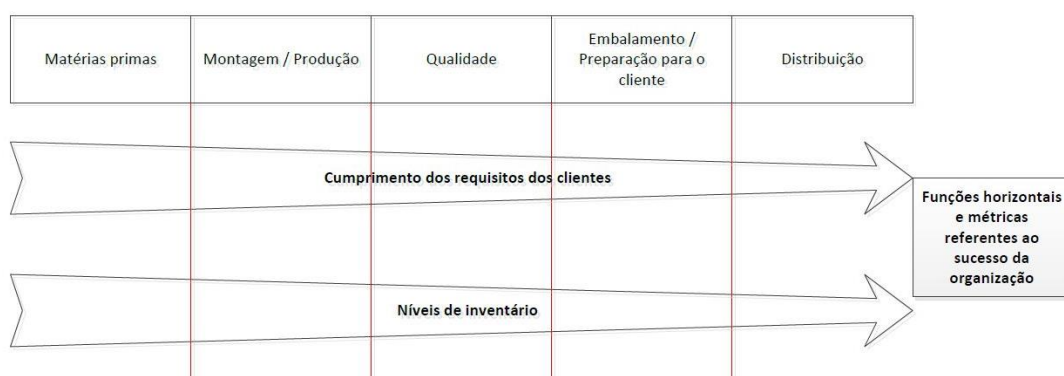


Figura 23 – Mapeamento das relações dos processos nas organizações (adaptado de (MacArthur et al, (1994)).

Nesta perspetiva, Kamble et al. (2011) operacionalizou a análise dividindo o projeto em três fases:

1. Análise do planeamento de produção, instalações e métodos de distribuição dos produtos para identificar oportunidades de melhoria e requisitos específicos dos sistemas estudados;
2. Análise e recolha de métricas e dados específicos à resolução do problema;
3. Apresentação à organização de iniciativas e benefícios inerentes à implementação das estratégias sugeridas.

Assim, os patamares de atuação identificados anteriormente foram traduziram-se em métricas específicas de análise, informação necessária para diagnosticar a situação atual. Na primeira fase, a investigação recaiu sobre os seguintes pontos:

- Planeamento da produção – Identificação dos valores planeados da procura e dos inventários assim como o horizonte temporal do planeamento da produção (anual, mensal, semanal ou diário);
- Capacidades e armazenagem – Avaliação do número de fábricas internas, capacidades máximas, números de silos e condições de embalamento;
- Características da distribuição – Identificação das zonas de parqueamento e as suas capacidades (interior e exterior da fábrica), zonas de carregamento e descarregamento e disponibilidade de camiões, assim como todas as rotas dentro da fábrica;
- Planeamento da distribuição – Avaliação da quantidade de cimento direcionada para o mercado interno/externo e levantamento do padrão de entrepostos nas diferentes localizações;
- Orientação das linhas de embalamento – Identificação do layout das linhas de embalamento;
- Carregamento de matérias – Análise das rotas que os camiões seguem dentro da fábrica para serem carregados e analisar a capacidade máximas das filas de forma a não causarem restrições no fluxo da fábrica;
- Saída – Caracterizar as saídas e os circuitos de transporte pós-fábrica.

Posteriormente, na segunda fase de intervenção, o foco direcionou-se para a análise de tempos de ciclo, para a análise do layout da fábrica como sistema geral e por fim, para a análise de movimentos de veículos dentro da fábrica respeitando todas as restrições identificadas (Kamble et al., 2011).

Toda a informação recolhida anteriormente seria utilizada na fase três onde a introdução de modelos de otimização e simulação de cenários rematava o estudo. No entanto, o ponto central nesta revisão foi a abordagem do autor à problemática proposta.

A consideração realizada aos dois seguintes casos apresentados foi concebida com o intuito base deste capítulo, como anteriormente referido. Após revisão de diversos casos de estudo ao longo de toda

dissertação, estes foram os selecionados pelo facto de representarem cenários bastante complexos, com operações relevantes para o tema.

A primeira conjuntura está inserida na indústria marítima. Os procedimentos complexos, com processos de múltiplas etapas, implicam que cada operação requisite elevada atenção e controlo, juntamente com um considerável número de funcionários, onde cada intervenção acarreta um elevado custo. Adicionalmente, as infraestruturas marítimas necessitam de imensos recursos financeiros para garantir a eficiência de funcionamento apesar de não existir uma relação clara entre problemas operacionais e más condições de manutenção no setor em questão (Arvis, Raballand, & Marteau, 2007).

Concretamente, o caso analisado é alusivo ao porto marítimo de Patras, Grécia. O modelo de simulação desenvolvido (Figura 24) foi baseado nos desenhos em *AutoCAD*, um software de desenho em 2D e 3D, produzidos aquando da construção do porto, com os seguintes objetivos: (i) procurar e estudar estratégias que adicionem eficiência nas operações; (ii) estudar possíveis mudanças antes da implementação física; (iii) experimentar vários cenários de operações; (iv) e testar o *Simio* para efeitos educacionais. Tal como na abordagem anteriormente realizada Kamble, esses objetivos foram convertidos em questões de estudo sendo elas (Georgia & Stamatis, 2013):

- Qual o melhor posicionamento para os terminais respeitando o nível de serviço, qualidade e custo?
- Quais o número de funcionários necessários para colmatar as necessidades nas partidas e chegadas?
- Qual os impactos que as várias entidades (Passageiros, barcos, veículos...) têm mutuamente?

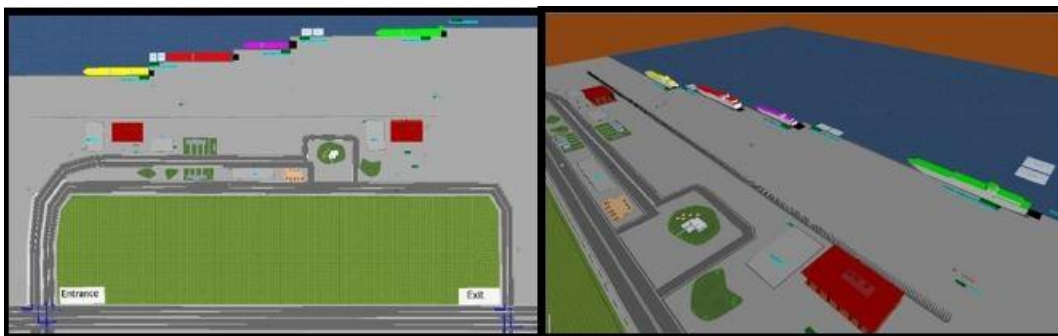


Figura 24 - Representação 2D e 3D do porto marítimo de Patras (adaptado de (Georgia & Stamatis, 2013)

Deste modo, a primeira aproximação incluiu o levantamento dos principais processos implícitos nas operações do porto. Foram identificados 4 processos principais para o estudo: (i) Carregamento de passageiros; (ii) Descarregamento de passageiros; (iii) verificação de bilhetes; (iv) e atracagem dos barcos. Posteriormente, foram averiguadas todas as restrições existentes no sistema em estudo como restrições ao número de barcos que podem entrar no porto simultaneamente, o posicionamento dos

veículos e as funções que definem os comportamentos aleatórios dos utentes nas saídas. Nas métricas utilizadas para quantificar o sistema, o agendamento e escalonamento representam um papel preponderante. Fatores como as condições marítimas e o agendamento planeado da chegadas e partidas de embarcações permitem previamente lidar com as variáveis definidas como o número de embarcações no porto e as suas capacidades máximas, a taxa de chegada e partidas de passageiros e o número previsto de chegadas. Por outro lado, o modelo é também alimentado com dados provenientes de recolhas prévias como o tempo de serviço que cada utente consome. Por fim, como restrição física surge o número de docas que basicamente condiciona todas as operações subjacentes ao porto.

Em termos de cenários simulados, é de salientar a simplificação que foi executada no sistema. O carregamento e descarregamentos das embarcações são feitos sequencialmente, ou seja, eliminou-se o tempo entre eles. Foram simulados dois cenários com duas experiências distintas, um para testar o carregamento de dois navios e outro para testar o posicionamento com navios nas docas, não sendo de interesse a descrição detalhada. As principais conclusões retiradas foram a identificação dos piores caminhos para os utentes, *Time on link*, a definição aproximada de como as operações do porto decorrem tendo em conta as diferentes programações de viagens, a criação de soluções para reduzir o tempo de espera, *waiting time*, e a possibilidade de identificar os melhores horários de trânsito que, por exemplo, podem afetar a chegada de um camião ao porto responsável por carga a carregar nas embarcações (Georgia & Stamatis, 2013).

A contextualização do último modelo analisado insere-se no panorama da utilização de dados em tempo real. O caso de estudo é relativo a uma reabilitação de uma estrada nos Estados Unidos, com o objetivo de alargar a estrada de duas faixas para quatro. Os principais processos subjacentes são o carregamento e descarregamento dos camiões, na fábrica de asfalto e no local da construção, a viagem de ida e volta para concretização dessas movimentações e as operações de construção. A quantificação desses processos foi traduzida em variáveis como a taxa de execução de tarefas, o número de funcionários necessário na obra, nos tempos das operações e do transporte (Song & Eldin, 2012).

No entanto, apesar do reconhecimento dos processos ser claro, a construção é caracterizada como um setor com um nível de complexidade muito elevada. A natureza do desenho de processo é afetada pelas diferentes metas e objetivos dos agentes envolvidos, sendo que as atividades podem parecer sequenciais, mas, muitas vezes, são possíveis de executar em paralelo, com o devido compromisso. Desta forma, frequentemente, não existe uma solução ótima e a abordagem aos problemas é definida em simultâneo com as soluções como, por exemplo, ações para adaptar as condições da obra à meteorologia (Bertelsen, 2003).

Para contrariar o efeito descrito, os objetivos e a interpelação da simulação pretendiam colmatar e controlar a aleatoriedade do sistema com a potencial reação a mudanças no sistema em tempo real ou num período de adaptação de segundos ou minutos. Os desafios adicionais em consideração centraram-se no método da recolha de dados em tempo real. No caso dos camiões, foram instalados dispositivos de sistemas de posicionamento global, conhecido como gps, contudo, a adaptação à informação externa como a meteorologia condições de tráfego constituiu uma barreira à atualização da lógica do modelo (Song & Eldin, 2012). A Figura 25 ilustra a estrutura base que é necessária para enfrentar as diversas restrições.

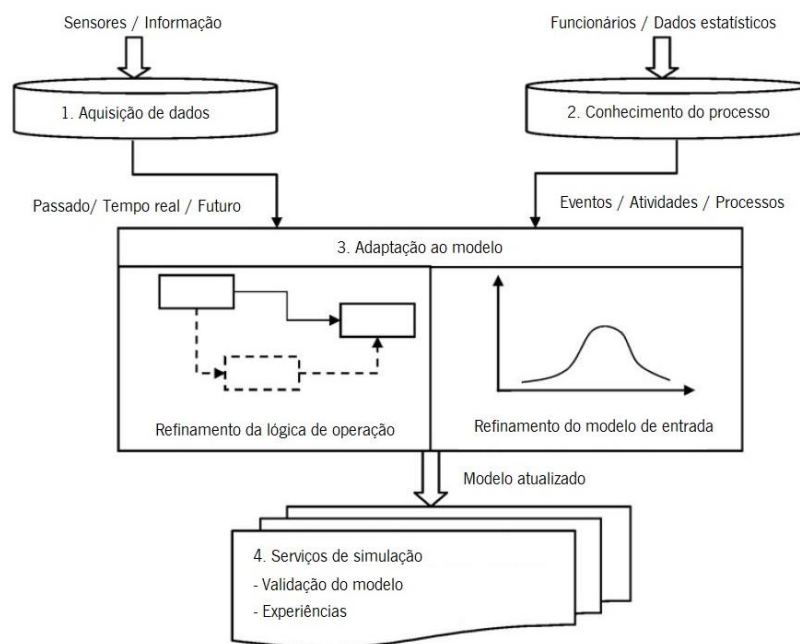


Figura 25 - Estrutura base da construção de um modelo de simulação. (adaptado de (Song & Eldin, 2012).

Apesar de corretamente programado, o modelo não foi validado perante a contradição com a realidade. Na verdade, dos 20 camiões projetados no planeamento, só 17 camiões de transporte é que estavam efetivamente a trabalhar na obra, sendo que os outros 3 estavam realocados em outras atividades desconhecidas. Adicionalmente, os tempos de espera na fábrica, devido a fatores externos, eram significativamente mais altos que os medidos pelo modelo de simulação (Figura 26) assim como os tempos de transporte.

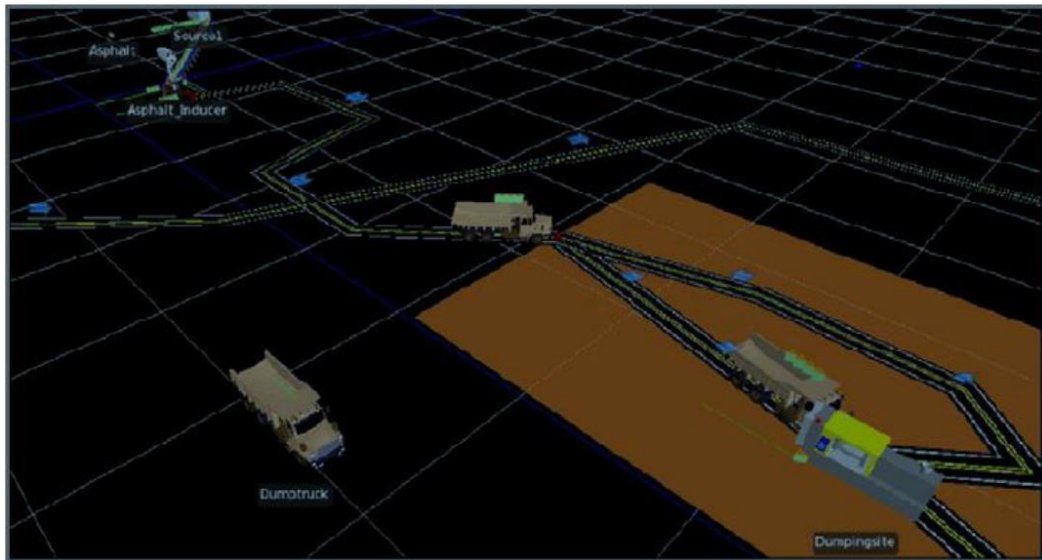


Figura 26 - Modelo em Simio de reabilitação de uma estrada nos Estados Unidos (adaptado de (Song & Eldin, 2012)).

No entanto, subsistem conclusões muito importantes neste estudo. A simulação em tempo real desafia a forma como a simulação é conduzida atualmente e aumenta o potencial de um processo de modelação e de experiência mais eficaz para o planeamento de curto-prazo. Salienta-se também a importância da validação e verificação do modelo (Song & Eldin, 2012).

Em termos práticos, no proveito desta dissertação, estas análises potenciam o trabalho desenvolvido no Capítulo 3.

3. MODELAÇÃO

3.1 Ambiente do Simio

A primeira interação com o *Simio* acontece com o próprio ambiente da aplicação (Figura 27). Este detém diversas e complexas competências computacionais no âmbito da simulação e por isso, é necessário um foco na execução dos projetos de forma a explorar corretamente as funcionalidades certas para atingir os objetivos que são propostos nos estudos desenvolvidos.

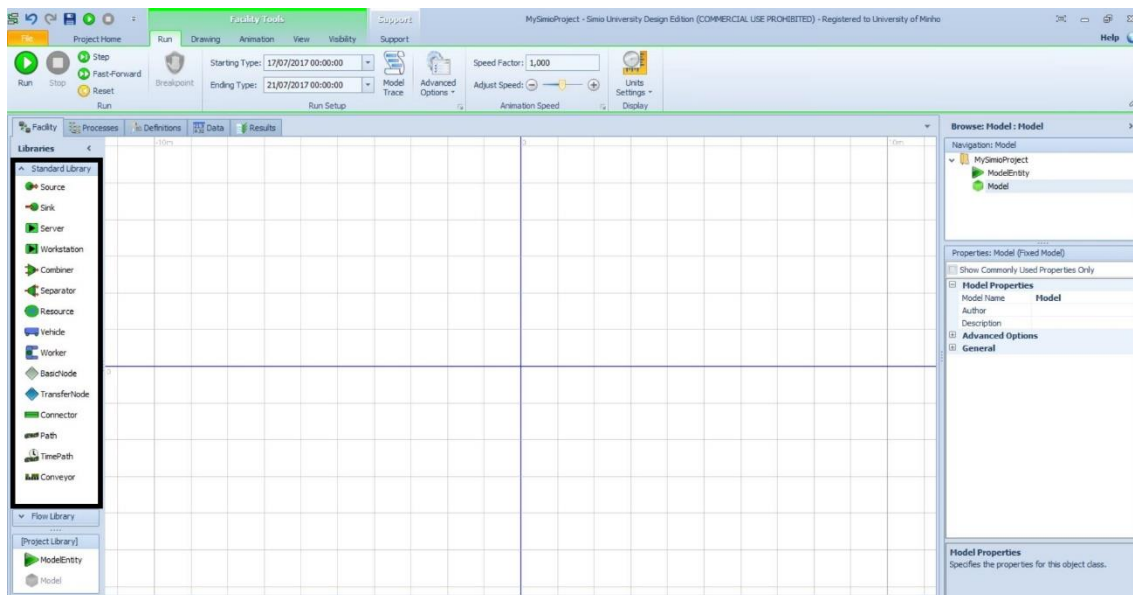


Figura 27 - Simio: Interface de simulação

As áreas chave no ecrã incluem menus de comando pelas diversas janelas como opções de desenho, animação, visualização e visibilidade de dados do modelo. Estão disponíveis também todas as ferramentas necessárias para a execução e coordenação do modelo dinâmico no separador “RUN”.

No entanto, para o desenvolvimento do modelo, o *Simio* disponibiliza uma biblioteca *standard* (Tabela 10) com objetos integrados associados a comportamentos gerais previamente programados, mas não com comportamentos específicos. Deste modo, por exemplo, a modelação de um carro através do objeto “*vehicle*” já integra propriedades como a capacidade, velocidade ou lógica de movimentação. Contudo, os seus valores têm de ser modificados de acordo com as pretensões do utilizador. Em termos de modelação, a área central da janela representada com a grelha de apoio e com o eixo x e y, chamada “*Facility View*” é onde é executada a construção do modelo.

Tabela 10 - Descrição dos objetos na standard library

Objeto	Descrição
<i>Source</i>	Permite a geração de entidades de um tipo específico e com um padrão de chegadas.
<i>Sink</i>	Destrói entidades que completaram a sua atividade no modelo.
<i>Server</i>	Representa um elemento que envolve capacidades (tempo/quantidades), como uma máquina ou uma operação.
<i>Workstation</i>	Modela um posto de trabalho complexo com tempos de preparação, de processamento e de paragem. Permite o uso de recursos secundários e requisição de material.
<i>Resource</i>	Objeto genérico que pode ser requisitado e libertado por outros objetos.
<i>Worker</i>	É um recurso móvel que pode ser requisito e libertado por tarefas específicas ou pode ser usado para transportar entidades entre nós.
<i>Combiner</i>	Combina múltiplas entidades “membro” com a entidade “pai”. Por exemplo, um conjunto de garrafas para serem colocadas em paletes.
<i>Separator</i>	Separa um grupo de entidades agrupadas ou executa cópias de uma entidade única.
<i>Vehicle</i>	Um transporte que pode seguir uma rota fixa ou executar operações de transporte perante a procura. Adicionalmente, na opção “ <i>On Demand</i> – Tipo de rota” pode ser utilizado como um recurso móvel que é requisitado ou libertado para tarefas não relativas ao transporte.
<i>BasicNode</i>	Modela uma interseção simples entre múltiplos caminhos.
<i>TransferNode</i>	Modela uma interseção complexa para alterar destinos e estilos de rota.
<i>Connector</i>	Representa uma ligação com tempo zero entre dois nós.
<i>Path</i>	Representa um caminho onde as entidades se podem mover independentemente com velocidades próprias.
<i>TimePath</i>	Modela um caminho que tem um tempo específico de deslocação para todas as entidades.
<i>Conveyor</i>	Retrata um caminho que modela dispositivos de transporte acumuladores ou não acumuladores.
<i>ModelEntity</i>	Uma entidade representa uma parte, pessoa ou objeto que é criado dinamicamente e que percorre o sistema até abandoná-lo.

No sentido de aprimorar o modelo, o *software* ainda disponibiliza a barra de ferramentas (Figura 28) onde podem ser construídos processos específicos de objetos com os passos típicos de um processo real tal como atributos, ações, decisões múltiplas, requisições, paragens, entre outras. Neste caso, um processo no *Simio* complementa também estados, elementos e *tokens* que podem ser consultados e adicionadas na aba “*Definitions*”.

A secção “Data” tem como função a gestão e introdução de informação inerente ao modelo. Por exemplo, podem ser introduzidos dados relativos a tempos de uma operação através de uma folha de excel, sendo posteriormente associados a uma operação existente na “facility view”, ou, pode ser definida uma sequência de nós que um certo veículo tem de seguir no modelo.

Por fim, ainda são disponibilizados os resultados das experiências realizadas com o modelo. De facto, é a sua análise que permite retirar conclusões do processo de simulação.

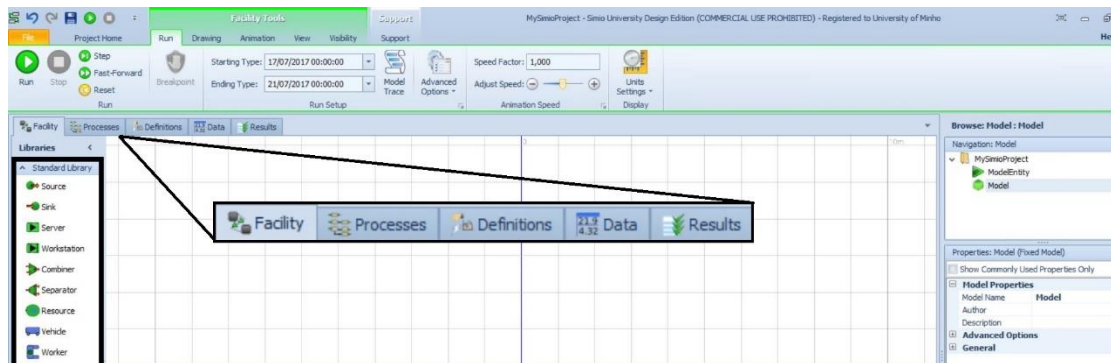


Figura 28 – Barra de ferramentas do Simio.

O objetivo do presente capítulo é a demonstração do processo de simulação da fábrica da Cimpor na Maia inserido no ambiente do *Simio*.

3.2 A unidade fabril

De acordo com a literatura, do ponto de vista estratégico, a fábrica da Maia reúne todas as condições logísticas necessárias à tipologia de serviços que presta. Nesse sentido, é importante a compreensão do sistema de funcionamento e do modelo de negócio instalado.

Na verdade, a unidade Fabril da Maia não é responsável pela produção de clínquer nem de cimento, como produto final. Esta característica compreende um âmbito de atuação diferenciado das fábricas analisadas anteriormente, dado que as condições de acesso à fábrica e a disponibilidade de meios para executar a distribuição se tornam fatores com um impacto consideravelmente superior no preço final dos produtos fornecidos. Essencialmente, para justificar a utilização desta unidade como intermediária, o preço de venda dos produtos finais tem de colmatar o transporte da fábrica produtora (Fábricas de Alhandra, Souselas, entre outras) para a Maia, com adição do valor de transporte para o cliente final. As unidades com este tipo de atuação são intituladas na indústria cimenteira como entrepostos.

Consequentemente, existem elementos que favorecem este contexto de ação. O ambiente interno e periférico da fábrica é caracterizado pela presença de vias de comunicação privilegiadas sendo que a receção de matérias-primas, ou produtos intermédios ou finais, é executada de três modos distintos:

- Ferrovias;
- Rodovias;
- Meio marítimo.

Internamente, o entreposto da Maia dispõe de vias ferroviárias próprias partilhadas com as linhas da empresa Comboios de Portugal (Figura 29). Esta característica permite uma extensão da capacidade de ação visto que é um meio de ligação direta às outras fábricas. O volume máximo transportado em cada vagão é de 50 toneladas, o que proporciona a transação de quantidades significativas com um custo bastante reduzido, uma vez que o transporte via ferroviário é o mais acessível em termos de custos. Por conseguinte, este é o método mais utilizado para a receção de produtos.

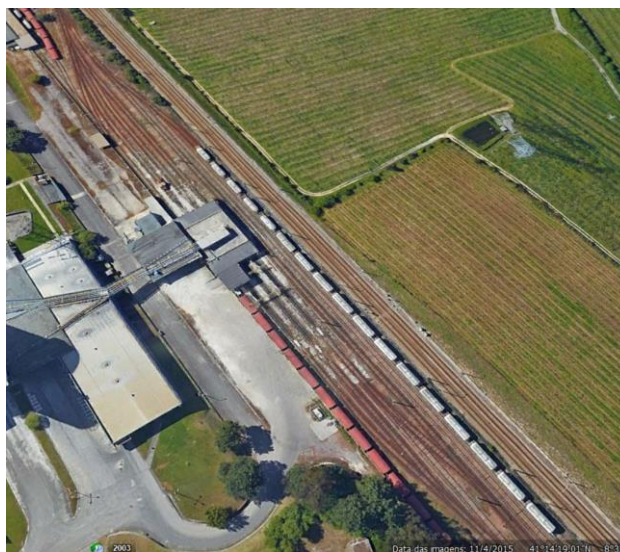


Figura 29 - Vias ferroviárias internas.

No entanto, no estudo proposto no presente capítulo, o sistema ferroviário não origina qualquer impacto no modelo desenvolvido, visto que a organização usufrui de um conjunto de recursos internos, com um elevado grau de automação e equipa própria, que são responsáveis, unicamente, pelo tratamento deste tipo de cargas.

Em contraste, apesar de abundantes e de elevada qualidade de acesso, as vias rodoviárias são as geradoras dos fluxos de camiões na fábrica (problema em estudo). As atividades inerentes a este tipo de transporte são: (i) a alimentação do mercado local; (ii) e o transporte de matérias aquando da chegada de navios. Todavia, o elevado fluxo de movimentação de camiões origina problemas de gestão de tráfego interno e externo.

Por fim, um dos elementos mais importantes de acesso à fábrica é a proximidade ao porto de Leixões (Figura 30) - cerca de 24km - facto com uma importância profunda na receção e exportação de grandes quantidades de materiais. De acordo com o responsável Cimpor, os navios transportam em média 4000

toneladas de material e têm regras rígidas no que se refere a tempos de descarga. Nesse sentido, quando atraca um navio, a prioridade de funcionamento da unidade fabril converte-se em garantir o transporte de todo o material em tempo útil, de forma a não transpor os prazos estipulados, dado que os custos de retenção de um navio são avultados.

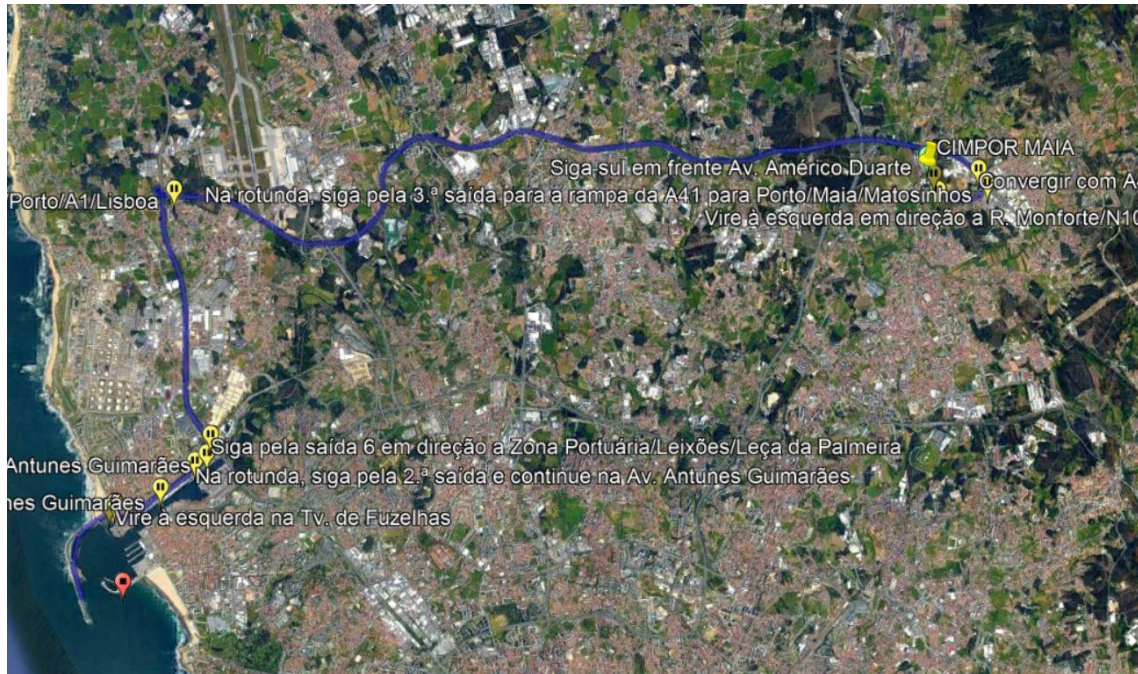


Figura 30 - Acesso ao porto de Leixões e vias rodoviárias em redor da fábrica.

Estas questões são os alicerces dos modelos desenvolvidos neste capítulo.

3.3 Recolha e tratamento de dados

No dia 28 de Julho de 2017 pelas 10h, o grupo de trabalho do projeto UH4SP do DPS dirigiu-se às instalações da fábrica de cimento CIMPOR na Maia, ao longo de uma manhã de trabalho. No entanto, tendo em conta que a empresa labora cinco dias por semana num horário das 9h às 17h e também considerando a influência de questões de segurança, não foi possível levar a cabo uma recolha de dados confiável através do processo de observação direta *in loco*.

No entanto, a utilização de métricas reais e confiáveis foi garantida pela *Cachapuz*, visto que foram facultados dados de processamento de um estudo anterior, diretamente retirados do sistema de informação que comercializam, o *SLV Cement*. Os dados disponibilizados foram entregues devidamente tratados e seguem uma distribuição normal (Tabela 11).

Tabela 11 - Tipos e tempos de operações.

Tipo de operação	Distribuição normal (Média, Desvio padrão) Valores em minutos
Pesagem de caminhão para ensacado	(3,0.5)
Pesagem de cisterna para carregamento em silo	(3,0.5)
Carregamento de caminhão no armazém (Sacos)	(13,5)
Carregamento de cisterna nos silos	(9,1)
Pesagem de caminhão na saída	(3,0.5)
Pesagem de cisterna na saída	(3,0.5)
Despacho do caminhão	(3,0.1)
Despacho da cisterna	(3,0.1)

Por outro lado, na visita, as informações recolhidas permitiram uma caracterização profunda da estrutura da unidade fabril, tanto a nível de capacidades como a nível de taxas de funcionamento. Todas as informações descritas de seguida foram partilhadas pelo responsável da fábrica da Maia.

Atualmente, a fábrica dispõe de uma capacidade máxima de produção de 50000 sacos diários de 25kg, sendo que cada caminhão tem uma capacidade de transporte de 14 paletes (Figura 31), acondicionando 72 sacos cada. Adicionalmente, consegue fornecer um máximo de 1100 toneladas de cimento a granel por dia. A contratação dos camiões é responsabilidade do cliente.



Figura 31 - Armazenagem e transporte de paletes.

Em termos de capacidades de armazenamento para o fornecimento a granel, a fábrica da Maia dispõe de 3 silos em betão e um silo metálico (Figura 32) com diferentes capacidades:

- Silo 1 – 6000 toneladas;
- Silo 2 – 6000 toneladas;
- Silo 3 – 6000 toneladas;
- Silo metálico – 2200 toneladas.

Na verdade, os materiais no seu interior também são distintos (cimento *Portland* com diferentes classes de resistência: Silo 1 – 52,5; Silo 2 – 32,5; Silo 3 – 32,5; Silo metálico – 42,5) de forma a adequar a sua disponibilidade à procura. No entanto, não existe rotação de material, ou seja, os produtos que estão no interior de cada silo não mudam no curto-médio prazo, pois o processo de troca obriga a um procedimento de limpeza completo consideravelmente dispendioso. Relativamente às taxas de carregamento, a disponibilidade em funcionamento máximo consegue atingir as 300 toneladas/hora. No entanto, por questões de desgaste e manutenção, os valores atuais encontram-se entre 150 e 180 toneladas por hora.



Figura 32 - Silos Maia: Montagem panorâmica

Em contraste, a armazenagem de material ensacado é executada num armazém próprio (Figura 33) com uma capacidade máxima de 35000 sacos agrupados em paletes. Este é alimentado por três máquinas de ensacar com capacidade de produção de 2000 a 2200 sacos por hora. Ainda assim, por questões económicas e logísticas, a fábrica de cimento da Maia recebe cerca de 20000 sacos mensais de cimento branco provenientes da fábrica de Alhandra e Souselas. Pelas informações recolhidas, a procura por este tipo de produto não é relevante e por isso não é influente nesta unidade fabril.



Figura 33 - Armazém fábrica Maia

3.4 Desenvolvimento do modelo

3.4.1 Processo de modelação

Na videoconferência ocorrida com o responsável logístico do grupo *InterCement* a partir da Argentina, realizou-se um levantamento de requisitos no que diz respeito ao processo de simulação demonstrado neste capítulo.

Consequentemente, após reflexão de questões relativas ao estudo, ficou acordado o desenvolvimento de um modelo que proporcionasse uma visão corporativa da fábrica e não com foco nos processos de forma individual. O resultado dessa triagem implica que o seu funcionamento englobe uma interpelação baseada numa abordagem *blackbox*. Esta permite a eliminação de complexidade do modelo através do controlo de variáveis inseridas (April, Glover, Kelly, & Laguna, 2003), o que, neste caso particular, significa a obrigatoriedade de utilizar tempos de processamento facultados na parte das operações sem analisar possíveis melhorias internas dos mesmos. Assim, a centralização do estudo está dirigida para os fluxos logísticos e o seu impacto no funcionamento da fábrica.

No seguimento desse requisito, foram também definidos alguns pressupostos:

1. A quantidade de matéria-prima existente na fábrica é considerada um valor infinito visto que está sempre disponível;
2. A dimensão dos camiões é equivalente ao objeto selecionado da biblioteca de objetos disponibilizada pelo *Simio* visto que as diferenças não têm um impacto significativo nos fluxos da fábrica;
3. Os perfis de aceleração dos camiões não são considerados;
4. Um camião pode transportar mais do que um produto o que pode implicar carregamentos ou descarregamentos em mais do que uma localização, seja de material a granel ou ensacado – Fator que não se verifica na fábrica da Maia;
5. As regras de entrada e circulação são fornecidas pela empresa por cada fábrica simulada.

Desta forma, nesta fase, já foi possível a identificação dos seguintes de dados a introduzir no modelo:

- Número de entradas na fábrica;
- Tempos das operações;
- Distâncias;
- Regras de circulação dentro da fábrica;
- Velocidades dos camiões;
- Volume de encomendas.

Apesar do volume de encomendas não ser disponibilizado, o modelo é desenvolvido considerando o âmbito de ação em fluxo máximo de camiões. Com os dados disponibilizados é possível identificar o número de camiões que vão ser necessários para cumprir o funcionamento nesse nível.

3.4.2 Conceção estrutural do modelo

A capacidade gráfica do *Simio* é uma das grandes vantagens enumeradas pelos seus utilizadores, como foi compreendido no subcapítulo 2.3. Nesse sentido, esta secção está responsável pela demonstração do desenvolvimento do ambiente gráfico no modelo da Fábrica da Maia.

Durante o desenvolvimento da presente dissertação foram executadas análises ao funcionamento da indústria cimenteira, assim como do seu funcionamento em termos logísticos. Proveniente dessa perceção, e para ilustrar um ambiente gráfico semelhante à realidade, foram identificadas quatro áreas centrais a representar: (i) estradas e rotas; (ii) infraestruturas; (iii) veículos; (iv) e elementos do ambiente em redor da fábrica.

No referente às estradas e rotas, uma das hipóteses que o *Simio* concede é a possibilidade de importar novas texturas para a janela “*facility*”. A grande vantagem desta solução é a construção das vias de comunicação internas de forma apoiada com o cenário real. No caso em questão, a imagem foi obtida do *Google Earth* numa vista superior a cerca de 100 metros de altura (Figura 34). A importação do ficheiro pode ser executada de um ficheiro *png* ou *jpeg* presente no computador.

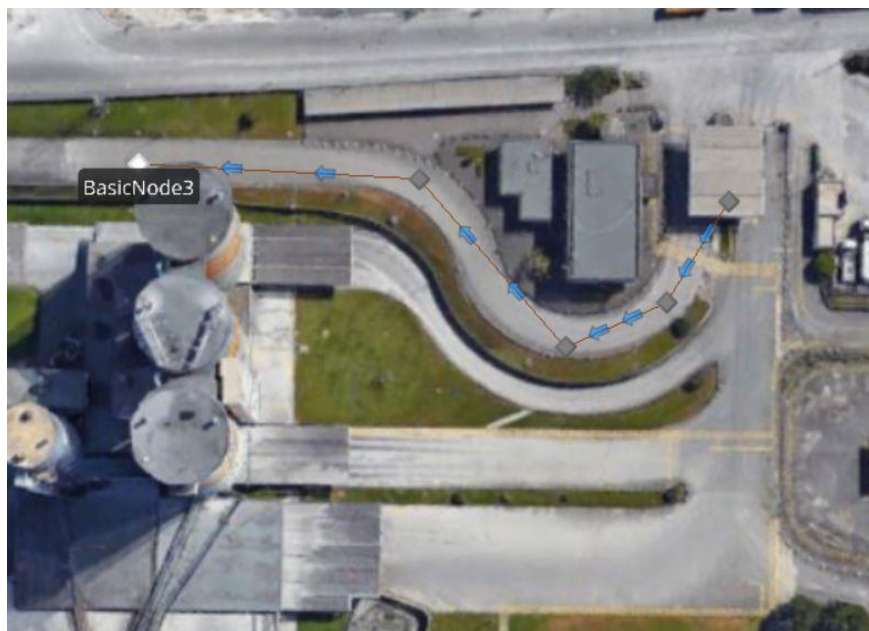


Figura 34 - Geração de caminhos no *Simio*.

No modelo desenvolvido, a representação de caminhos no *Simio* é feita com recurso aos objetos “*Path*” e “*BasicNode*”. Adicionalmente, as medidas específicas são recolhidas através da ferramenta “*Régua*”

do *Google Earth* que permite, através da seleção na barra de opções “caminhos”, a medição de distâncias entre vários pontos selecionados pelo utilizador. A introdução no *Simio* é executada através das propriedades disponibilizadas pelo objeto “*Path*” selecionado, alterando a opção “*Draw to scale*” para “*false*” e de seguida, introduzindo na opção “*Logical Length*” as medidas reais do caminho. Consequentemente, os objetos que circulem neste caminho passam a considerar a distância do mesmo, ou seja, se a velocidade programada é 100 quilómetros por hora e a distância do caminho for 100 quilómetros, no tempo de simulação esse elemento vai demorar exatamente uma hora a percorrer essa distância. Na Figura 35 estão representados todos os elementos acima referidos, além de uma alteração na visualização do caminho através do “*path decorator*” para aproximar o aspeto a uma estrada real. No entanto, o aspeto podia ser uma linha ferroviária, um caminho de terra, entre outros.

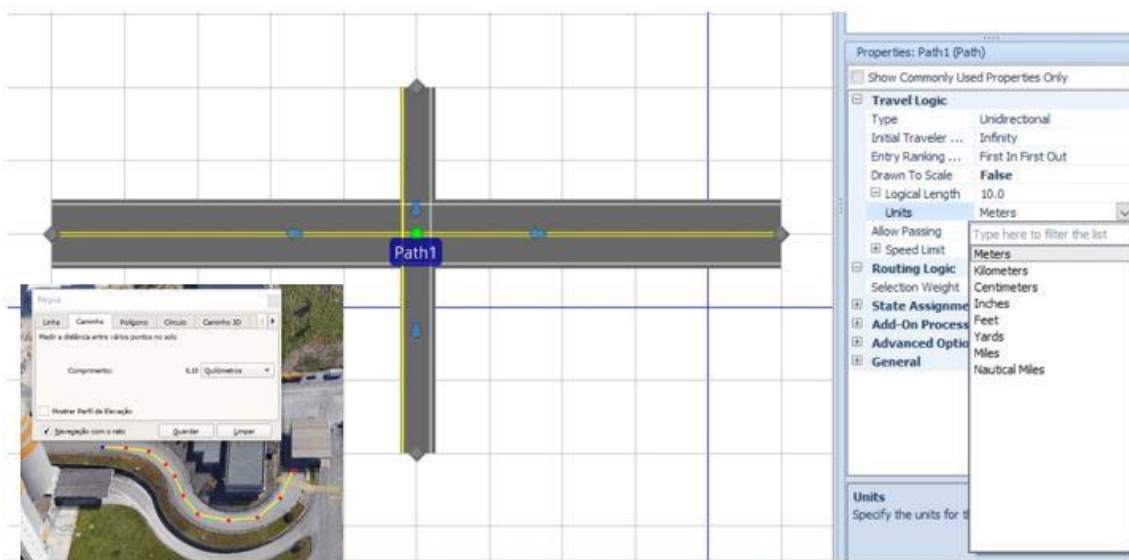


Figura 35 - Ferramenta de medição e representação de caminhos no *Simio*.

Na elaboração das infraestruturas da fábrica, são utilizados objetos disponíveis na *3D Warehouse* onde estão disponíveis vários modelos desenvolvidos no programa *SketchUp*. O próprio *Simio* também disponibiliza a sua própria biblioteca *standard* de símbolos. No entanto, se um utilizador avançado pretender utilizar os próprios desenhos de objetos também é possível através da importação de modelos desenvolvidos no *AutoCAD* ou no *SketchUp*. Na Figura 36 estão representados os comandos para executar a importação ou o *download* dos desenhos 3D.

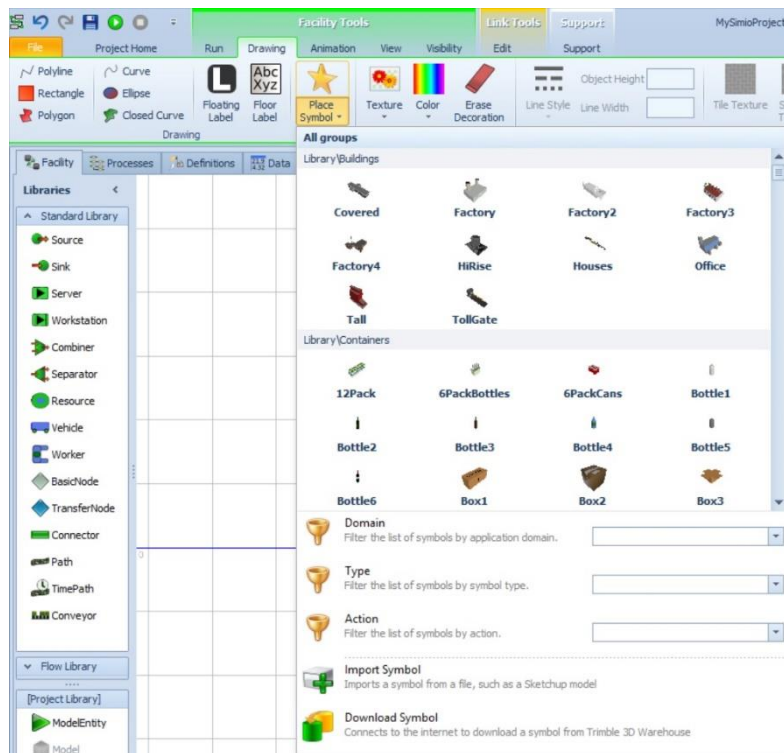


Figura 36 - Inserir símbolos no Simio.

Neste contexto, os elementos mais importantes a representar são: as portarias de entrada e saída da fábrica, os silos e o armazém. Na verdade, a necessidade de representação de certas características dinâmicas nestas estruturas, como capacidades e tempos de processamento, faz com que estes sejam os elementos mais importantes enquanto outros são simplesmente figurativos como, por exemplo, a estação do comboio. Na base da sua constituição estão objetos “*server*” que permitem alterar o seu comportamento consoante os dados recolhidos na realidade. Na Figura 37 estão ilustradas as propriedades que podem ser alteradas no objeto “*server*”.

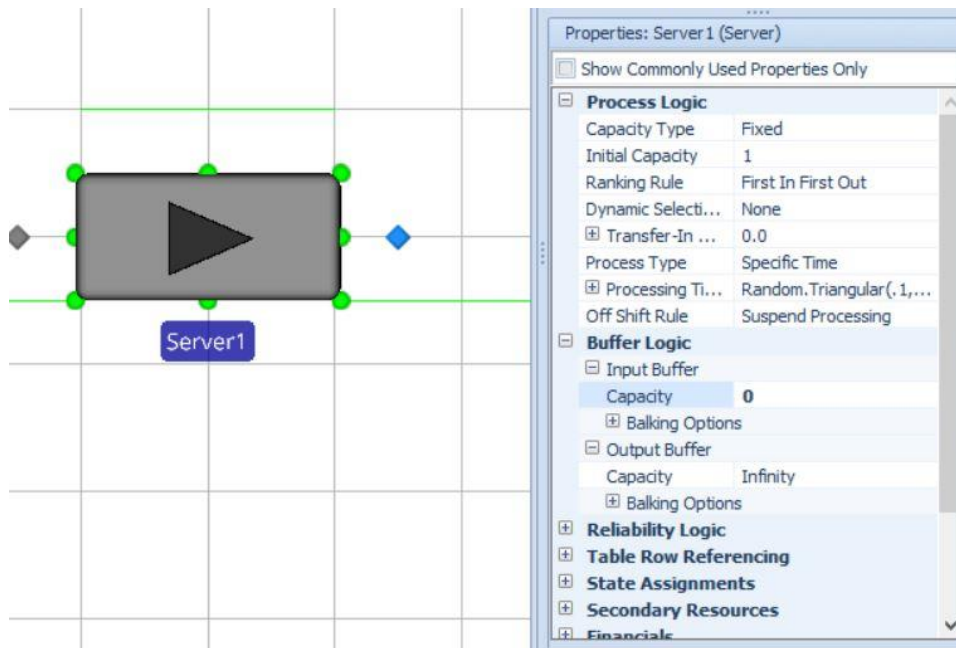


Figura 37 - Propriedades do objeto server.

O funcionamento lógico deste objeto está associado à presença de um nó de entrada e outro de saída, onde as entidades são libertadas do “*server*”. O comportamento é, portanto, definido enquanto a entidade é processada pelo *server*.

Por conseguinte, o primeiro elemento a representar é a “portaria acesso à fábrica” visto que é o ponto de entrada no sistema interno da fábrica. O comportamento deste objeto difere com o tipo de entidade que é processada, neste caso camiões:

1. Veículos para carregamento a granel – A regra aplicada na entrada dos camiões deste tipo é o FIFO (*first in, first out*), o que se traduz, na prática, na organização por ordem de chegada. No entanto, estes não são obrigados a parar na portaria de entrada visto que o camião é pesado no próprio silo. Logo, neste tipo de serviço, os camiões não são processados pelo *server* “portaria de entrada” e entram diretamente para o circuito interno da fábrica. Existem duas possibilidades de considerar o seu processamento: (i) atribuição na propriedade “*Processing Time*” do valor 0 minutos; (ii) ou adicionar um segundo *server* para diferenciar os dois tipos de camiões. No modelo em questão foi selecionada a segunda hipótese, o que resultou na alimentação desse elemento com um tempo de processamento equivalente à divisão da distância pela velocidade, neste caso, 0.04 minutos.
2. Veículos para carregamento de material ensacado – Da mesma forma que os anteriores, a regra de entrada é a ordem de chegada. Contudo, estes têm de ser processados pelo *server* em questão, visto que o processo de pesagem, para registo da tara do camião, é executado na

entrada. Apesar de se tratar de um processo, o seu impacto no sistema é traduzido unicamente através de um tempo de processamento introduzido na propriedade “*Processing Time*”. Dado que os dados facultados seguem uma distribuição normal, no *Simio*, a sua introdução é executada através da função *random*. Concretamente, dentro da distribuição normal com média 3 minutos e desvio padrão 0,5 minutos, o *software* seleciona aleatoriamente valores dentro da distribuição. A sua introdução no “*Processing Time*” é implementada com o uso da expressão “*Random.Normal(3,0.5)*”. Adicionalmente, o campo “*input buffer*” é definido com o valor 0 com o intuito de não permitir o agrupamento de veículos dentro da própria portaria e desta forma, qualquer tipo de congestionamento será representado no próprio caminho através de filas de trânsito. Na Figura 38 podemos verificar as propriedades introduzidas corretamente.

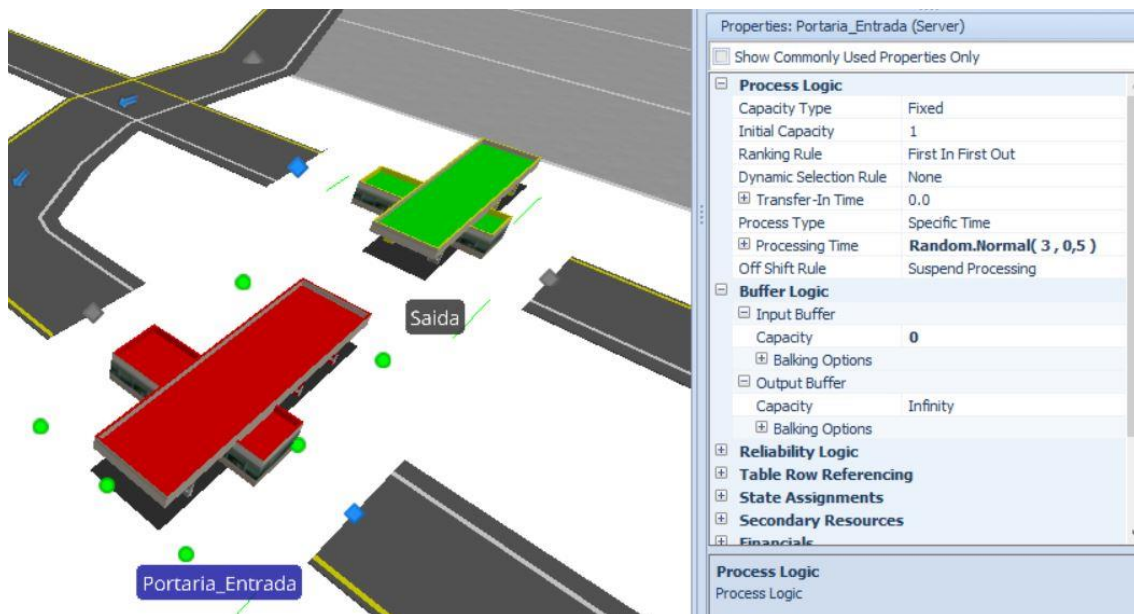


Figura 38 - Representação das portarias de entrada e saída.

Na figura anterior estão representadas a portaria de entrada e de saída, uma vez que o seu funcionamento é similar. A única diferença prende-se com o facto de todos os veículos, carregamento a granel ou ensacado, serem pesados na báscula de saída, de forma a garantir que não há sobrelotação da capacidade dos camiões. A transposição da capacidade de carga dos camiões está sujeita a pesadas sanções na via pública.

A modelação dos silos é elaborada considerando as regras de funcionamento reais. Na prática, apesar de instalados quatro silos na unidade fabril, a sua ação está dependente de duas estruturas sob os silos onde se encontram as mangas de enchimento. Esta característica compromete o número de silos em ação para 2, visto que em termos de espaço físico, só é possível o carregamento de um camião em cada “túnel”. A Figura 39 ilustra a sua modelação no *Simio*.

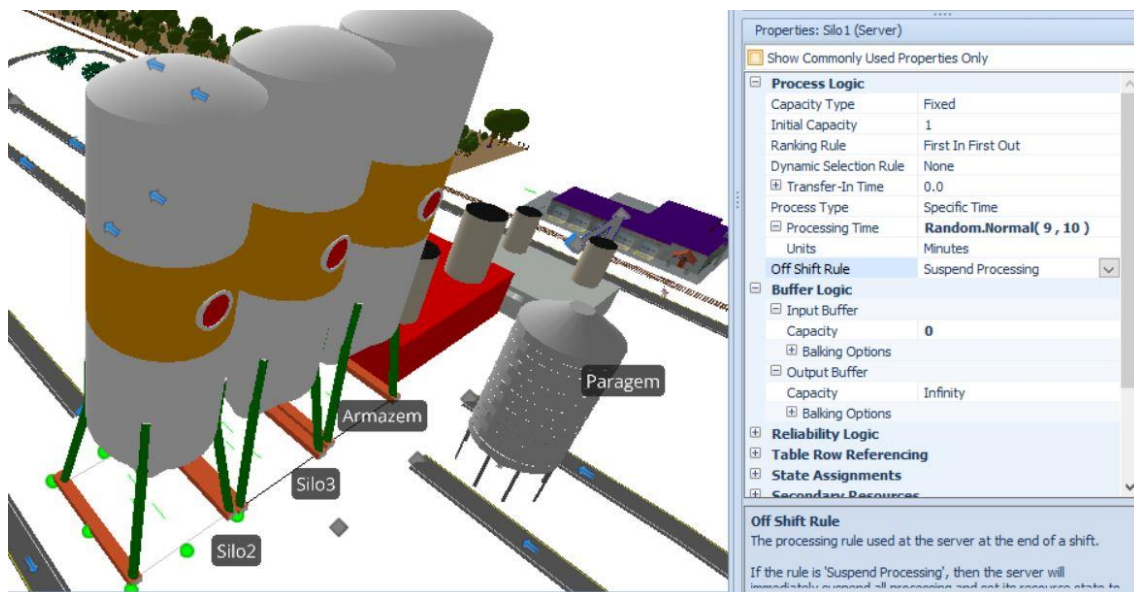


Figura 39 - Modelação dos Silos.

De referir, também o facto de o sistema mecânico de disponibilização de produtos aos camiões do silo ser baseado na força da gravidade. Esta característica suporta o pressuposto das taxas de enchimento equivalentes, apesar destes valores não causarem impacto na simulação.

De forma não expectável na fase de preparação do modelo, o método mais adequado de representação dos veículos neste estudo consiste na adição de objetos “*ModelEntity*” e não na utilização de objetos do tipo “*Vehicle*”. O critério de escolha surgiu de quatro inferências:

- A ausência da necessidade de contabilização das quantidades de matéria transportadas;
- Os camiões, efetivamente, são os objetos processados nos objetos *server*;
- A influência da tradução dos processos em unidades de tempo no objetivo central do estudo;
- As entidades nos modelos podem ser representadas graficamente por qualquer símbolo, o que permite manter o modelo visualmente realista.

As propriedades dos dois objetos são comparadas na Figura 40.

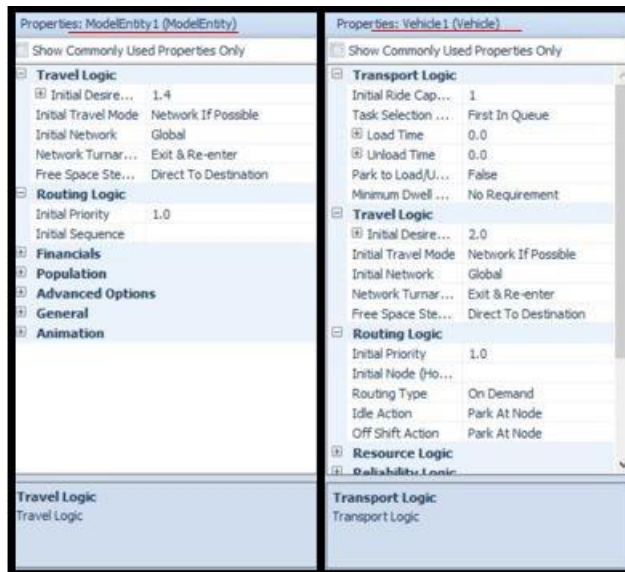


Figura 40 - Comparação de propriedades: ModelEntity (à esquerda) vs Vehicle (à direita).

Como é possível verificar, as propriedades disponíveis no objeto *ModelEntity* adequam-se aos comportamentos dinâmicos que são pretendidos com os camiões: lógica de movimentação entre *servers* e incorporação de velocidades. O efeito da introdução de lógicas de transporte disponível nas propriedades do objeto *Vehicle* é, unicamente, o aumento da complexidade sem vantagens adicionais. No referente à lógica de movimentação no modelo, a sua base é desenvolvida sobre o conceito de redes. Uma rede é um conjunto de uma ou mais ligações onde a entidade se movimenta no modelo (D. Pegden & Sturrock, 2013). Dado que cada tipo de camião está associado a uma rota fixa correlacionada com o tipo de atividade que é executada, a introdução no *Simio* é implementada através de tabelas que posteriormente são anexadas à lógica de movimentação - conceito reconhecido como “*Routing by sequence*”. A Figura 41 ilustra a programação do comportamento dos camiões cisterna.

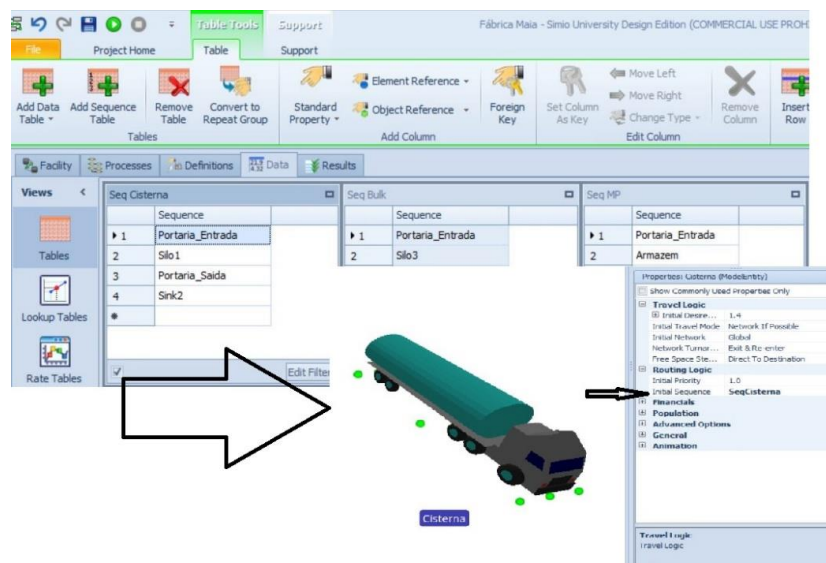


Figura 41 - Introdução da lógica de movimentação no camião cisterna.

Os restantes elementos presentes no modelo são introduzidos meramente para aproximar a representação do modelo do *Simio* à realidade (Figura 42) e não possuem qualquer tipo de comportamento dinâmico, além da criação de entidades como comboios e carros para adição de movimento. No entanto, a sua aplicação aumenta consideravelmente a necessidade de processamento dos modelos a nível de *hardware*.

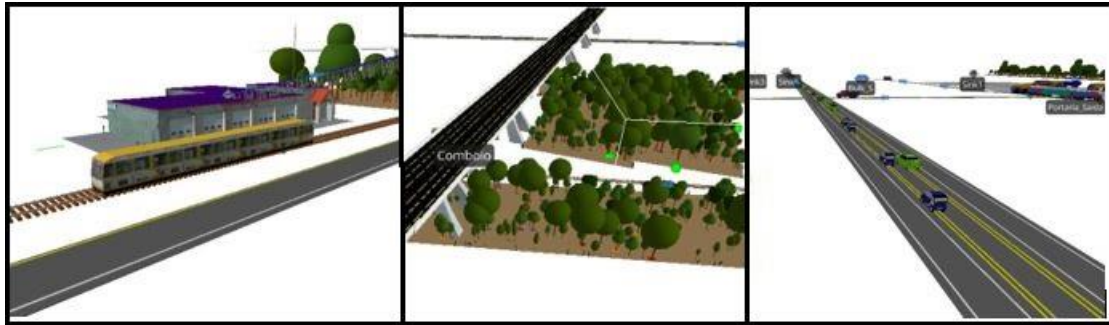


Figura 42 - Representação de elementos de apoio gráfico sem impacto no sistema.

O resultado da integração de todos os elementos resultou no modelo apresentado na Figura 43. Os comportamentos dinâmicos explicitados neste tópico vão ser a base dos resultados obtidos, contudo, os dados concretos de cada modelo são apresentados no subcapítulo 3.5 aquando a exposição de cada modelo desenvolvido.

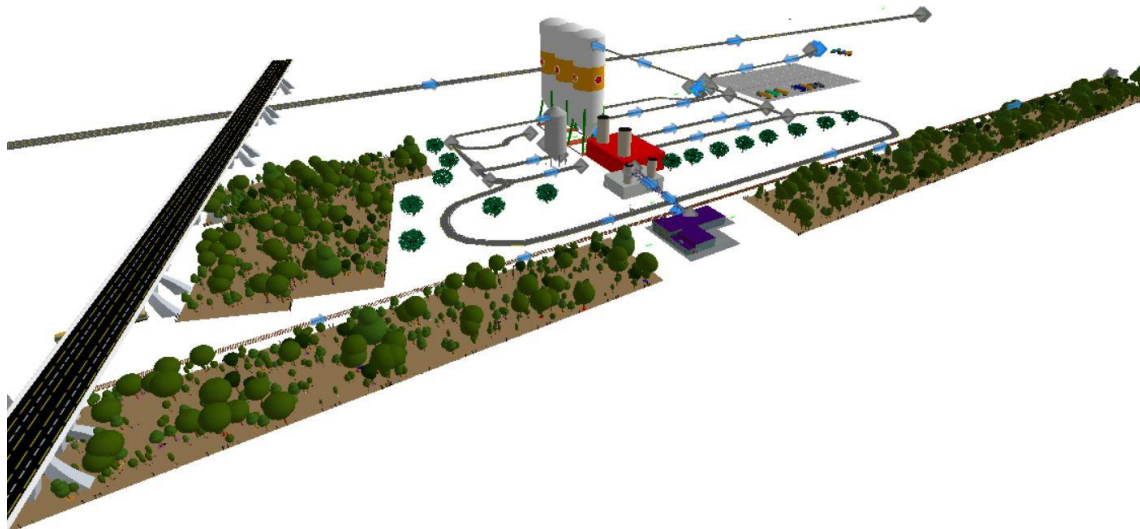


Figura 43 - Modelo simio : Fábrica Cimpor Maia.

3.5 Análise de resultados e conclusões

3.5.1 Modelo teste – Diagnóstico atual, métricas e validação

No diagnóstico atual da fábrica, consideraram-se todos os recursos de interesse utilizados no exercício da sua atividade. Os dados introduzidos no modelo procuram sustentar a reprodução da realidade da empresa.

Através da visita realizada e da recolha de informações nas instalações da Cachapuz, foi facultada a hipótese da compreensão da conjectura atual na unidade fabril e, desta forma, proceder à aquisição de dados que possibilitam o teste de validação do modelo (sob a definição presente no subcapítulo 2.1.1) desenvolvido no presente tópico.

Apesar da fábrica ter uma capacidade máxima diária de fornecimento de 50000 sacos de cimento de 25 kg e de 1100 toneladas a granel, no presente momento, a procura só absorve 250000 kg de material ensacado - cerca de 10000 sacos - e 700 toneladas a granel, respetivamente. Por conseguinte, a fábrica adequou o seu funcionamento, encerrando uma das linhas de fornecimento a granel.

Por intermédio destes valores, é possível calcular o fluxo de camiões necessário para satisfazer o transporte dessas quantidades. Para efeitos de cálculo, o valor da capacidade de cada camião cisterna considerado é 25 toneladas (na realidade, de acordo com a informação partilhada pelo responsável do entreposto da Maia, os valores variam entre 20 e 30 toneladas):

- Número de camiões de ensacado: para atender à procura de 10000 sacos diários, o número de paletes necessárias é 139, respeitando os dados apresentados no subcapítulo 3.3. Dessa forma, dividindo o número de paletes pela capacidade de cada camião de transporte (14 paletes), conclui-se que são necessários 10 camiões de caixa aberta;
- Número de camiões cisterna: nas condições atuais, o valor da procura situa-se nas 700 toneladas diárias. Dado que cada cisterna possibilita o transporte de 25 toneladas, a divisão entre a procura e a capacidade de transporte indica que serão necessários 28 camiões cisterna para colmatar as necessidades.

Contudo, estes valores apresentam uma limitação, dado que a sua deslocação à fábrica não acontece num único momento temporal. Uma vez que não foi possível a disponibilização de um registo de entradas relativo ao entreposto da Maia, devido a questões de privacidade e divulgação de dados, a solução encontrada baseia-se na consulta de registos de outra fábrica cimenteira (referência que não pode ser incluída na presente dissertação). No entanto, os valores são proporcionalmente similares às entradas na unidade fabril da Maia. Esse ajuste foi executado devido à desigualdade do volume total de camiões

(579 na unidade partilhada e 38 planeados no entreposto da Maia) e encontra-se representado na Tabela 12.

Tabela 12 - Tabela de chegadas: Modelo diagnóstico

Rate Table original		
Intervalos de tempo	Nº de chegadas	Nº de chegadas / Nº total de camiões
[9; 10]	82	0.141623
[10; 11]	80	0.138169
[11; 12]	76	0.131261
[12; 13]	75	0.129534
[13; 14]	78	0.134715
[14; 15]	70	0.120898
[15; 16]	68	0.117444
[16; 17]	50	0.086356
Total	579	1

Rate Table proporcional da Maia			
	<u>Nº total de camiões</u> <i>[Nº total de camiões necessários * (Nº de chegadas / Total de camiões)]</i>	<u>Nº Camiões ensacado</u> <i>[Nº total de camiões * (Nº de camiões ensacado planeado/ Nº Total necessário)]</i>	<u>Nº Camiões Cisterna</u> <i>[Nº total de camiões * (Nº de camiões ensacado planeado/ Nº Total necessário)]</i>
[9; 10]	6	2	4
[10; 11]	6	2	4
[11; 12]	5	2	4
[12; 13]	5	2	4
[13; 14]	6	2	4
[14; 15]	5	2	4
[15; 16]	5	2	4
[16; 17]	4	2	3
Total	42	16	31

¹Da rate table original

Todavia, o uso desta aproximação propicia uma ligeira inflação nos valores dos camiões. No entanto, se consideramos que a capacidade de carga não é utilizada na totalidade, pode-se considerar aceitável a necessidade de um maior número de camiões do que o previamente planeado. Nos modelos

desenvolvidos no decorrer da dissertação, a abordagem para encontrar o número de camiões é a mesma e, dessa forma, na apresentação dos dados, serão só facultados os dados calculados e não o método de cálculo, com o intuito de focalizar a análise de resultados.

A introdução no *Simio* destes valores e a posterior associação às entidades é realizada em dois passos (Figura 44):

1. Criação das *rate tables* no menu “Data” para cada objeto;
2. Alteração na propriedade “*Arrival Mode*” de “*Interarrival Time*” para “*Time Varying Arrival Rate*”, no objeto gerador das entidades correspondentes (neste caso *Source2*). Posteriormente, na propriedade “*Rate table*” selecionar as tabelas pretendidas.

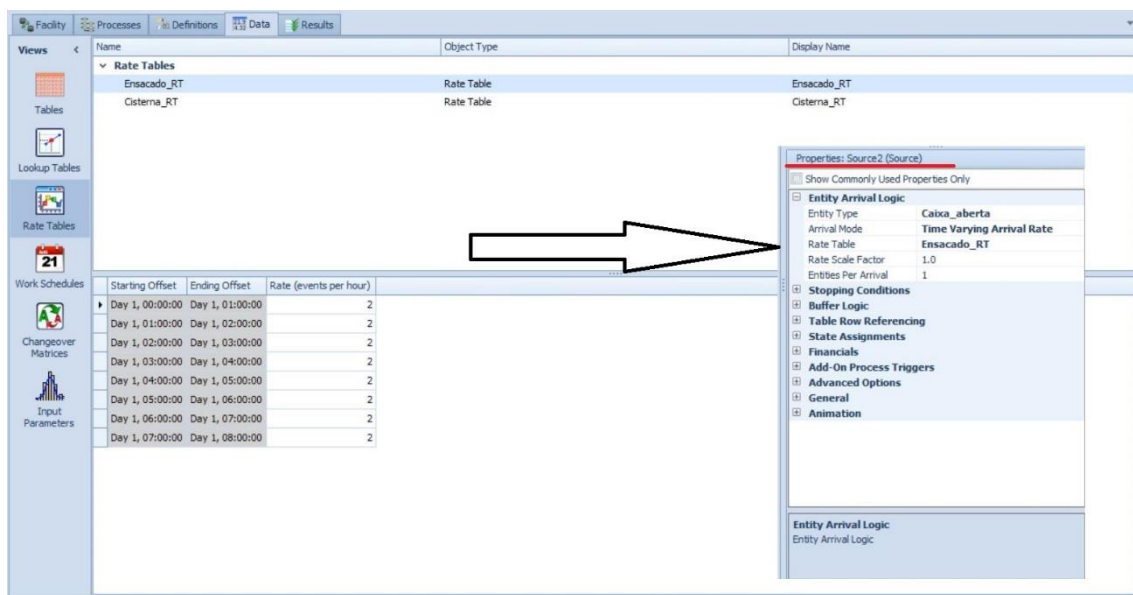


Figura 44 - Associação de rate tables aos objetos.

Com o intuito de avaliar o funcionamento do sistema e os efeitos causados pelo fluxo de veículos, definiram-se métricas de *performance*. As métricas estipularam-se durante os encontros com os responsáveis da Cachapuz, de forma a garantir-se o equilíbrio entre os interesses da instituição e a execução deste estudo e são elas:

1. Tempo médio de espera das entidades no parque;
2. Tempo médio das entidades no sistema;
3. Número de camiões de caixa aberta em fila de espera na área do armazém;
4. Número médio de camiões cisterna em fila de espera na área dos silos.

Contudo, o interesse da entidade atenta na primeira métrica devido à impossibilidade de, atualmente, o sistema *SLV Cement* executar a sua medição.

De forma a reproduzir ao máximo a realidade da empresa e a obtenção de resultados relevantes, configurou-se a simulação, no menu “*Run*”, para um dia de trabalho com 8h, tal como a empresa opera. Adicionalmente, são realizadas 5 réplicas para promover a confiabilidade aos resultados da simulação em todos os modelos.

No modelo desenvolvido neste subcapítulo, os valores obtidos são unicamente de teste devido à diminuta procura nas atuais condições de mercado (Tabela 13).

Tabela 13 - Métricas recolhidas: Modelo diagnóstico

Métrica de estudo	Tipo de camião	Valor
Tempo médio de espera das entidades em parque	Caixa aberta	24 segundos;
	Cisterna	21 segundos;
Tempo médio das entidades no sistema	Caixa aberta	25 minutos e 36 segundos;
	Cisterna	19 minutos e 32 segundos;
Nº médio de camiões em fila na área do armazém	Caixa aberta	0;
Nº medio de camiões em filas de espera na área dos silos	Cisterna	0;

Como podemos verificar, os resultados gerados pelo *Simio* sugerem que a fábrica se encontra em subutilização e com capacidade de processamento de todas as entidades que entram no sistema. Neste sentido, o modelo é considerado válido dado que se adequa à realidade da unidade.

Os cenários desenvolvidos nos próximos subcapítulos envolvem outros fatores. Nesse sentido, para facilitar a compreensão, a análise é sempre executada com o seguinte alinhamento:

1. Elucidação das condições testadas no modelo;
2. Demonstração das *Rate tables* das entidades;
3. Explicação dos valores das métricas definidas;
4. Análise dos resultados obtidos.

3.5.2 Modelo 1 – Fluxo máximo

No modelo desenvolvido, para representar o funcionamento do entreposto em capacidade máxima, realizaram-se alguns ajustes no sentido de adequar a conjuntura da unidade fabril.

Neste cenário, distinto do panorama atual, a fábrica adapta-se à procura através da abertura da segunda linha de fornecimento a granel o que, concretamente, duplica a sua capacidade de fornecimento de

materiais a granel, dado que as taxas de abastecimento são similares. A modificação no modelo do *Simio* foi introduzida através da alteração da capacidade, nas propriedades do *Server3*, para o valor 2. Isto significa que, a partir desse momento, na realidade, os silos têm capacidade para processar duas entidades simultaneamente, neste caso, camiões cisterna. O armazém mantém-se com o mesmo comportamento do modelo diagnóstico.

Em termos de fornecimento, a fábrica é atualizada para a sua capacidade máxima, ou seja, 50000 sacos de cimento diários de 25 quilogramas e 1100 toneladas a granel. O maior impacto desta alteração é o aumento do número de camiões necessários para movimentação dessa quantidade de material:

- Número de camiões de ensacado: para atender à procura de 50000 sacos diários (1250000 quilogramas), o número de paletes necessárias são 694. Dessa forma, dividindo o número de paletes pela capacidade de cada camião de transporte (14 paletes), conclui-se que são necessários 50 camiões de caixa aberta;
- Número de camiões cisterna: em fluxo máximo, o valor da procura situa-se nas 1100 toneladas a granel diárias. Dado que cada cisterna possibilita o transporte de 25 toneladas, a divisão entre a procura e a capacidade de transporte indica que serão necessários 44 camiões cisterna.

A tabela de chegadas ajustada à realidade da fábrica está representada na Tabela 14.

Tabela 14 - Tabelas de chegadas: Modelo fluxo máximo.

Rate Table proporcional da Maia			
Intervalos de tempo	Nº total de camiões	Nº Camiões ensacado	Nº Camiões cisterna
[9; 10]	14	7	7
[10; 11]	13	7	6
[11; 12]	13	7	6
[12; 13]	13	7	6
[13; 14]	13	7	6
[14; 15]	12	6	6
[15; 16]	11	6	6
[16; 17]	9	5	4
Total	98	52	47

Como podemos observar, os valores de camiões foram ligeiramente inflacionados novamente devido ao arredondamento dos valores sendo que, quando o número de camiões é 6,27, por exemplo, na verdade,

têm de aparecer 7 camiões e não 6. Caso contrário, a capacidade de carga não será suficiente para suportar a quantidade procurada.

Os valores obtidos no modelo desenvolvido estão representados na Tabela 15.

Tabela 15 - Métricas recolhidas: Modelo fluxo máximo

Métrica de estudo	Tipo de camião	Valor
Tempo médio de espera das entidades em parque	Caixa aberta	1 minuto e 3 segundos;
	Cisterna	53 segundos;
Tempo médio das entidades no sistema	Caixa aberta	2 horas e 2 minutos;
	Cisterna	14 minutos e 55 segundos;
Nº médio de camiões em fila na área do armazém	Caixa aberta	13;
Nº médio de camiões em filas de espera na área dos silos	Cisterna	1;

Conferindo as métricas definidas, os dados sugerem que o problema na fábrica, em períodos de atuação em fluxo máximo, se encontra na capacidade de processamento do armazém perante o nível de procura de material ensacado (Figura 45). Comparando com o modelo diagnóstico, o tempo médio dos camiões de caixa aberta subiu aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

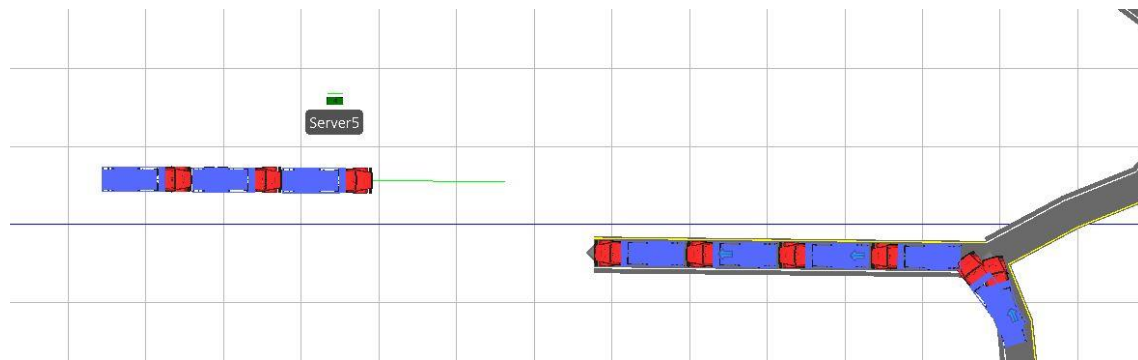


Figura 45 - Fila na zona do armazém depois de 5 horas e 2 minutos de simulação.

De realçar também o facto de, apesar do número médio de camiões por cada 8h de trabalho ser 13, o número máximo em espera, em alguns intervalos de tempo, ultrapassa largamente esse valor e a tendência é de aumento ao longo do tempo (Figura 46).

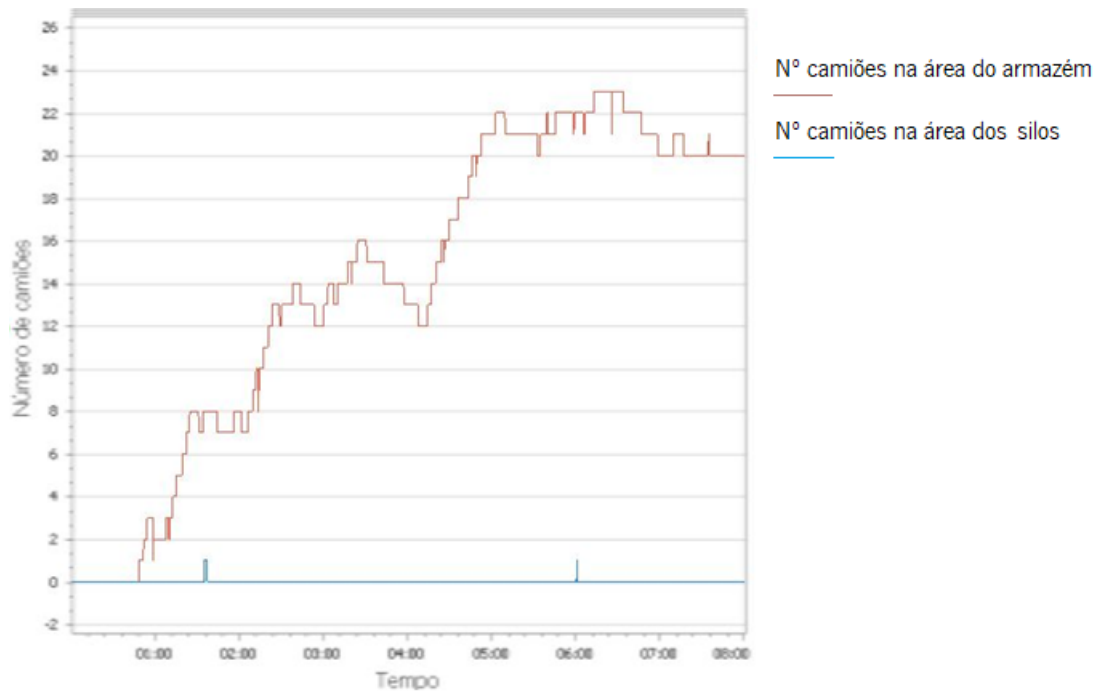


Figura 46 – Modelo 1: N° de Camiões na área do armazém vs N° Camiões na área dos silos.

Por outro lado, os dados sugerem que a abertura da segunda linha de fornecimento a granel origina um efeito positivo no tempo médio dos camiões cisterna no sistema com um ganho previsto em relação ao diagnóstico atual de aproximadamente 4 minutos e 30 segundos.

De forma complementar, é importante mencionar-se que, na realidade, a fila descrita neste modelo nunca se verificaria na unidade fabril. Este facto deve-se ao controlo por parte do sistema *SLV Cement* do número de camiões que podem circular dentro da fábrica.

No entanto, este modelo adiciona uma nova métrica que o sistema não consegue contabilizar e que foi um dos desafios propostos, isto é, desenvolver uma métrica que contasse o número absoluto de camiões em espera antes da entrada na fábrica. Através da análise dos resultados modelo, comparando com as entradas previstas na realidade, é possível executar um cálculo aproximado de clientes de material ensacado que abandonaram a fábrica antes de entrarem. A perda de clientes por tempos de espera excessivos é uma realidade no decorrer da atividade da fábrica. Esta informação foi partilhada em conferência com a organização líder do consórcio.

Por último, os dados sugerem que a capacidade máxima da fábrica, no caso do material ensacado, considerando os tempos de processamento fornecidos e a quantidade de camiões necessária, não é de 50000 sacos diários de 25 quilogramas, mas sim de aproximadamente 30 000. Este valor é baseado no nº de camiões que a fábrica consegue processar nesta área, cerca de 30, como se pode verificar na Figura 47, equivalente a 750000 quilogramas de material ensacado.



Figura 47 – Modelo 1: N° Caixa aberta necessários vs N° Caixa aberta processados.

3.5.3 Modelo 2 – Influência da chegada de navio

O modelo apresentado neste capítulo é baseado na realidade do funcionamento em fluxo máximo, no entanto, com um grau de complexidade para o sistema consideravelmente mais elevado.

A fábrica, em condições normais reais, não executa qualquer tipo de preparação planeada para responder ao aumento considerável de movimentações logísticas, internas e externas. Essencialmente, de acordo com a informação recolhida através dos responsáveis das duas organizações de interesse, nestes períodos a fábrica aloca toda a sua capacidade ao processamento de camiões provenientes dos navios, adicionando períodos de trabalho alongado, se necessário. Este facto deve-se à imposição dos horários de atracagem dos navios que, devido aos custos elevados, são seriamente rígidos e implicam que a matéria transportada seja obrigatoriamente retirada do navio, sendo a congestão transferida para a entrada na fábrica.

Neste cenário, para representação dos veículos responsáveis pelo transporte do navio para a fábrica, foi adicionada uma nova entidade, apelidada de “Camião matérias-primas” (CMP) e foi adicionado um novo *server* que representa a estação de entrada de matérias-primas. Relativamente a quantidades, a base do modelo pressupõe que o navio transporta 4000 toneladas, valor que já foi contabilizado num cenário real e desta forma, partilhado pelo responsável do entreposto. Os camiões definidos anteriormente partilham as características com os camiões cisterna e assim sendo, a capacidade de carga considerada para efeitos de cálculo são 25 toneladas.

Em termos de fornecimento, a fábrica continua sobre os mesmos valores introduzidos no modelo 1, ou seja, 50000 sacos de cimentos ensacado e 1100 toneladas de material disponibilizado a granel. O impacto no número de camiões calculado é o seguinte:

- Número de camiões de ensacado: consideram-se que são necessários 50 camiões de caixa aberta, tal como no modelo 1;
- Número de camiões cisterna: seguindo a mesma abordagem dos camiões de ensacado, presumem-se que são necessários 44 camiões cisterna;
- Número de camiões de matérias-primas: para responder à necessidade de transporte de 4000 toneladas, dividindo a quantidade total pela capacidade de carga dos camiões (25 toneladas), conclui-se que são necessários 160 camiões para realizar com sucesso o transporte de toda a matéria.

Contudo, no processo de desenvolvimento do modelo, pressupõe-se que a data de chegada do navio é planeada e, por conseguinte, considera-se que esta tipologia de transportes é executada de forma normalizada. A tradução deste pressuposto no modelo implica que o número de camiões seja dividido pelos vários intervalos de tempo de maneira equivalente. A tabela de chegadas está representada na Tabela 16.

Tabela 16 - Tabela de chegadas: Modelo chegada de navio

Rate Table proporcional da Maia			
Intervalos de tempo	<u>Nº Camiões ensacado</u>	<u>Nº Camiões cisterna</u>	<u>Nº Camiões CMP</u>
[9; 10]	7	7	20
[10; 11]	7	6	20
[11; 12]	7	6	20
[12; 13]	7	6	20
[13; 14]	7	6	20
[14; 15]	6	6	20
[15; 16]	6	6	20
[16; 17]	5	4	20
Total	52	47	160

Como podemos verificar, os valores de camiões cisterna e ensacado são equivalentes aos utilizados no modelo 1 e o número de camiões de matérias-primas foi distribuído uniformemente pelos intervalos de tempo, tal como descrito anteriormente.

Os valores das métricas de interesse relativas à simulação sob as condições definidas anteriormente, estão representados na Tabela 17, com a adição dos valores para a entidade camiões matérias-primas.

Tabela 17 - Métricas recolhidas: Modelo chegada do navio

Métrica de estudo	Tipo de camião	Valor
Tempo médio de espera das entidades em parque	Caixa aberta	8 minutos e 34 segundos;
	Cisterna	20 segundos;
	CMP	1 h, 27 minutos e 43 segundos;
Tempo médio das entidades no sistema	Caixa aberta	2 horas e 46 segundos;
	Cisterna	15 minutos e 14 segundos;
	CMP	2 horas, 56 minutos e 52 segundos;
Nº médio de camiões em fila na área do armazém	Caixa aberta	12;
Nº médio de camiões em fila de espera na área dos silos	Cisterna	1;
Nº médio de camiões em fila de espera na estação de matérias-primas	CMP	1;

Como verificado no modelo 1, a capacidade da unidade fabril não é suficiente para processar os valores da procura de ensacado em fluxo máximo, facto que se mantém inalterado. Da mesma forma, os dados sugerem que o recebimento do material proveniente do navio, num período de 8h, é irrealista (Figura 48).

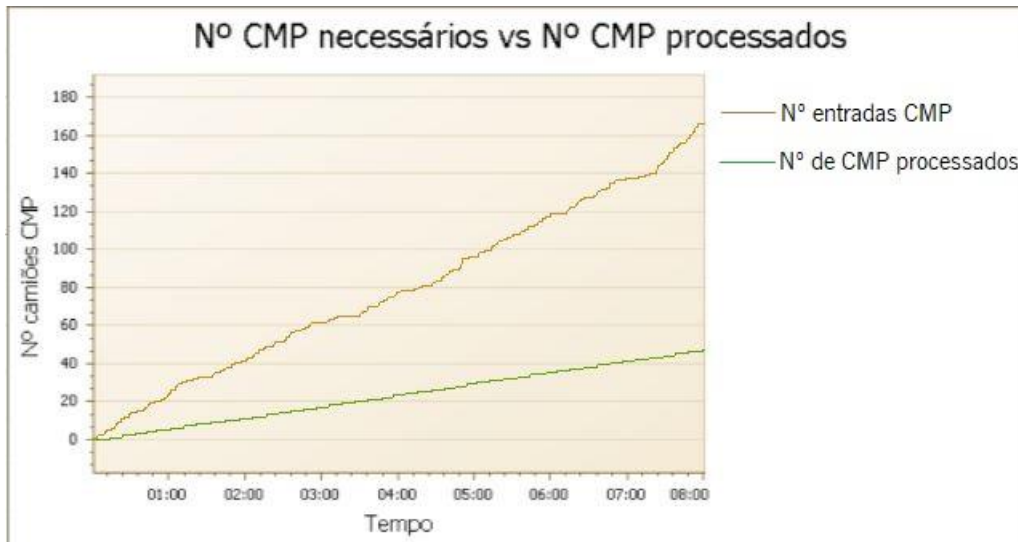


Figura 48 – Modelo 2: N° CMP necessário vs N° CMP processados.

Os resultados confirmam as inferências relativas aos períodos de trabalho alongados nas alturas de receção de material via marítima.

Comparando o tempo médio de espera das entidades em parque, pode concluir-se que a inclusão da nova entidade causou um efeito negativo no tempo de espera médio dos camiões de caixa aberta, apesar do n° médio em fila na área do armazém se manter inalterado. Este facto sugere que o problema se encontra no circuito de entrada da fábrica (Figura 49).

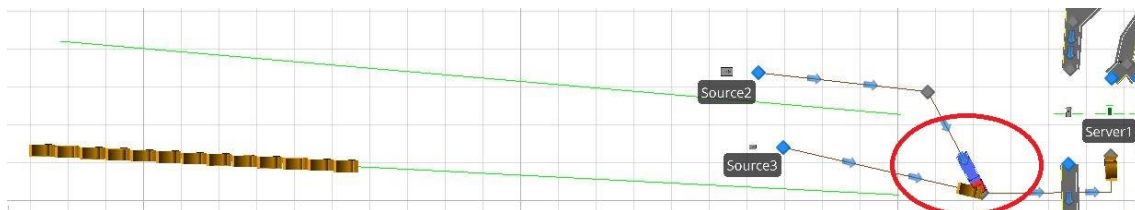


Figura 49 - Conflito no caminho para a portaria.

Na verdade, como as duas entidades referidas anteriormente necessitam de ser pesadas na portaria de entrada (representada pelo *server 1* na Figura 49), são obrigadas a partilhar o caminho precedente. A regra de prioridade aplicada é o *FIFO*, ou seja, a primeira entidade que chega à interseção é a que tem prioridade de passagem.

Adicionalmente, pode concluir-se que a presença da entidade CMP não influencia o funcionamento das linhas a granel. Como podemos verificar na Figura 50, todas as entidades “camiões cisterna” que entram no sistema são processadas.

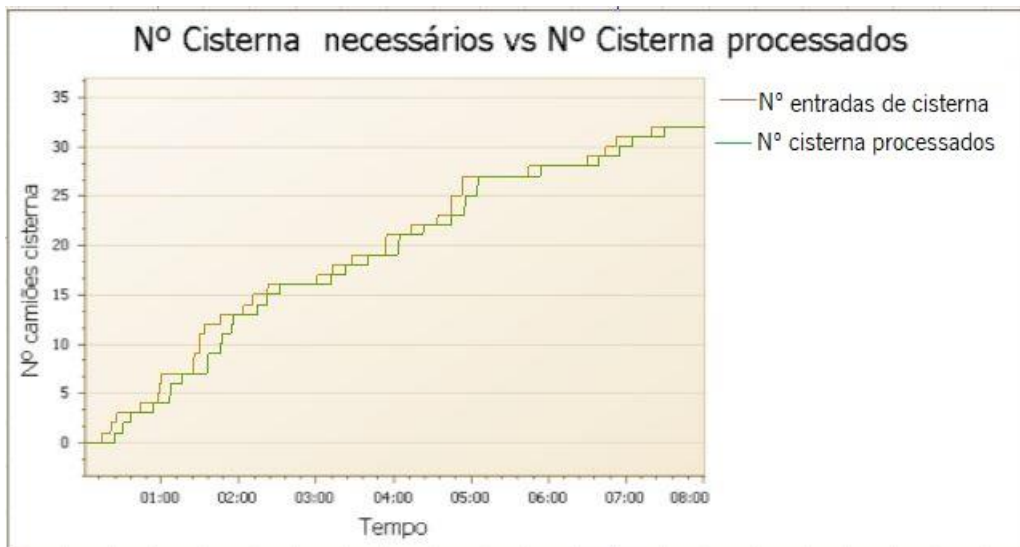


Figura 50 – Modelo 2: N° Cisterna necessários vs N° Cisterna processados.

O modelo no subcapítulo seguinte tenta propor duas soluções para amenizar os efeitos sentidos e aumentar a fluidez do sistema.

3.5.4 Modelo 3 – Propostas de melhorias

Considerando o conhecimento adquirido na revisão de literatura e a informação recolhida através dos responsáveis do entreposto da Maia e da Cachapuz, a primeira proposta de melhoria sugerida converte-se na necessidade de execução de um planeamento de chegadas com o intuito de incitar a negociação de janelas temporais com os clientes de forma a normalizar a procura pelos serviços da fábrica. Esta melhoria traduz-se meramente na distribuição da procura diária pelos intervalos de tempo em que a fábrica labora com o objetivo de atenuar os períodos de maior intensidade.

No presente modelo, todos os dados se mantêm inalterados em relação ao modelo 2, no entanto, pressupõe-se que a quantidade procurada é conhecida e a negociação com os clientes é possível, de forma a acordar períodos de entrada na fábrica. Em termos práticos de modelação, por cada tipo de camião, é executado o somatório das necessidades para o dia e esse valor é dividido pelas 8 janelas temporais. Dessa forma, a tabela de chegadas converte-se para os valores constantes da Tabela 18.

Tabela 18 - Tabela de chegadas: Modelo propostas de melhorias

Rate Table proporcional da Maia normalizada			
Intervalos de tempo	<u>Nº Camiões ensacado</u>	<u>Nº Camiões cisterna</u>	<u>Nº Camiões CMP</u>
[9; 10]	7	6	20
[10; 11]	6	6	20
[11; 12]	7	6	20
[12; 13]	6	6	20
[13; 14]	7	5	20
[14; 15]	6	6	20
[15; 16]	7	6	20
[16; 17]	6	6	20
Total	52	47	160

A distribuição dos 52 camiões de ensacado verificados no modelo 2, divididos pelas 8 janelas temporais resulta num valor de 6,5 camiões por intervalo de tempo, no entanto, para efeitos práticos, os 4 camiões restantes são divididos por intervalos de tempo intercalares. A mesma questão foi verificada com o número de camiões cisterna visto que o resultado da divisão era 5,875 e desta forma, do total de 7 restantes, a segmentação foi executada em períodos separados, ou seja, das 9h às 13h e posteriormente, das 14h às 17h. O pressuposto base para esta estratégia é a criação de um período de acalmia a meio do horário de laboração.

Os valores das métricas de interesse para comparação, estão representadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Métricas recolhidas: Modelo propostas de melhoria

Métrica de estudo	Tipo de camião	Valor
Tempo médio de espera das entidades em parque	Caixa aberta	11 minutos e 20 segundos;
	Cisterna	20 segundos;
	CMP	1 hora, 11 minutos e 32 segundos;
Tempo médio das entidades no sistema	Caixa aberta	1 hora, 47 minutos e 12 segundos;
	Cisterna	14 minutos 58 segundos;
	CMP	2 horas, 56 minutos e 21 segundos;
Nº médio de camiões em fila na área do armazém	Caixa aberta	8;
Nº médio de camiões em fila de espera na área dos silos	Cisterna	1;
Nº médio de camiões em fila de espera na estação de matérias-primas	CMP	1;

Os dados apresentados sugerem que o efeito da normalização da procura é positivo no tempo médio dos camiões de caixa aberta no sistema em relação ao modelo 2, desde a sua chegada até à sua saída, apesar do tempo médio de espera em parque ter aumentado ligeiramente, cerca de 3 minutos. O ganho é de aproximadamente 13 minutos.

Adicionalmente, também se pode verificar que o número médio de camiões de caixa aberta em fila na área do armazém diminuiu de 12 para 8, o que pode refletir o efeito da chegada mais faseada das entidades ao local. As restantes métricas não sofrem alterações significativas.

A segunda sugestão é baseada na conclusão do modelo 1 onde surge a indicação de que a capacidade máxima da fábrica não é de 50000 sacos diários, mas sim de 30000, quantidade equivalente a 750000 quilogramas de material ensacado. Ao considerar este valor, os fluxos da fábrica são reduzidos, o que influencia a capacidade que tem de responder aos seus clientes. Neste cenário, é considerado que a fábrica segue o pressuposto da normalização dos valores da procura. Atendendo ao volume de 30000

sacos, o número de camiões de caixa aberta necessários para garantir o seu transporte são 30. A Tabela 20 apresenta a tabela de chegadas adequada para este contexto.

Tabela 20 - Tabela de chegadas 2: Modelo propostas de melhoria

Rate Table proporcional da Maia			
Intervalos de tempo	<u>Nº Camiões ensacado</u>	<u>Nº Camiões cisterna</u>	<u>Nº Camiões CMP</u>
[9; 10]	4	6	20
[10; 11]	4	6	20
[11; 12]	4	6	20
[12; 13]	3	6	20
[13; 14]	4	5	20
[14; 15]	4	6	20
[15; 16]	4	6	20
[16; 17]	3	6	20
Total	30	47	160

O pretexto de distribuição dos camiões de caixa aberta segue a mesma estratégia do proposto na primeira melhoria, ou seja, a criação de dois períodos de acalmia durante o horário de laboração da fábrica, um entre as 12h e as 13h e outro entre as 16h e as 17h.

Os valores das métricas de interesse relativas à simulação são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Métricas recolhidas 2: Modelo propostas de melhoria

Métrica de estudo	Tipo de camião	Valor
Tempo médio de espera das entidades em parque	Caixa aberta	8 minutos e 46 segundos;
	Cisterna	20 segundos;
	CMP	40 minutos e 24 segundos;
Tempo médio das entidades no sistema	Caixa aberta	44 minutos e 39 segundos;
	Cisterna	15 minutos e 35 segundos;
	CMP	2 horas, 54 minutos e 36 segundos;
Nº médio de camiões em fila na área do armazém	Caixa aberta	5;
Nº médio de camiões em fila de espera na área dos silos	Cisterna	1;
Nº médio de camiões em fila de espera na estação de matérias-primas	CMP	1;

Os dados sugerem que a adequação por parte da unidade fabril a um plano objetivo e aprimorado tem um efeito positivo nos elementos mais críticos. Em contraste, subsistem os camiões cisterna que, comparando com o modelo 2, permanecem com métricas inalteradas. Sugere-se que o modo de atuação deste sector se mantenha inalterado. Em oposição, um aumento da procura acima do valor referido obrigará à modificação estrutural do mecanismo de alimentação dos silos, dado que é um sistema bastante rígido.

Adicionalmente, pode-se verificar que o tempo médio de espera dos camiões de matéria-prima, proveniente do navio, sofreu ganhos significativos neste cenário, passando de 1 hora e 27 minutos para aproximadamente 40 minutos.

No entanto, o tempo médio desta entidade no sistema não sofreu alterações significativas (ganho médio de dois minutos), o que sugere que o *bottleneck* seja o próprio processo de descarga. O número de entidades processadas não sofreu alterações perante o demonstrado no modelo 2.

Comparando as duas métricas anteriormente descritas, conclui-se que o ganho no tempo em parque é devido à diminuição do congestionamento na zona de entrada e na zona do parque. O fator justificativo para esse decréscimo, de acordo com os dados, foi a diminuição do número de camiões de caixa aberta

em espera. Adicionalmente, conclui-se que não é possível, num período laboral de 8h, o processamento de um navio com uma capacidade de 4000 toneladas. O número de camiões necessário para o transporte da quantidade referida implica que a unidade fabril opere em horário alongado, fator que deve ser considerado no planeamento aquando a chegada de um navio.

De realçar são também os benefícios que a estratégia proposta revela no sector do armazém. Através da adequação da capacidade máxima às inferências realizadas durante o desenvolvimento dos diversos cenários, chega-se a uma quantidade limite que pode ser utilizada como métrica, considerando como pressuposto os valores introduzidos e a confirmação real da lógica do modelo.

Os dados sugerem que, além do ganho de aproximadamente 1 hora e 45 minutos no tempo médio da entidade “cisterna” no sistema, o número médio de camiões em fila de espera na área do armazém reduziu, passando de 12 para 5.

Neste cenário, a unidade fabril fica com capacidade para garantir o fornecimento de material a granel e ensacado a todas as entidades, como comprovado na Figura 51.

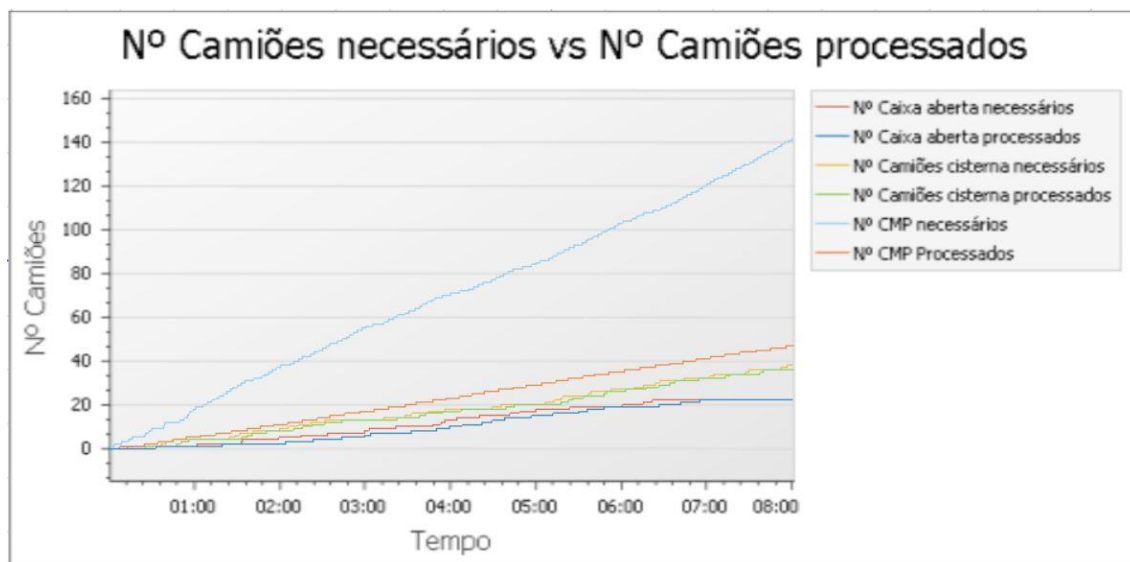


Figura 51 – Modelo proposta de melhoria: Nº Camiões necessários vs Nº Camiões processados: cenário final.

4. CONCLUSÃO

Com base nos conhecimentos adquiridos durante a execução da presente dissertação, procurou-se reproduzir e simular em *Simio* os fluxos logísticos do entreposto Cimpor Maia em quatro cenários distintos: (i) diagnóstico atual; (ii) fluxo em capacidade máxima; (iii) fluxo aquando a chegada de um navio de matérias-primas; (iv) e um cenário com propostas sugestões de melhorias:

- Na situação atual, os resultados obtidos sugerem que a fábrica se encontra em subutilização de capacidade e tem disponibilidade para processar todos os camiões que entram nas instalações, sejam cisternas ou camiões de caixa aberta;
- No funcionamento em capacidade máxima, conclui-se que a abertura da segunda linha de fornecimento a granel origina um efeito positivo no tempo médio no sistema dos camiões cisterna. Adicionalmente, foi também proposta uma métrica de contabilização de clientes perdidos por tempos de espera excessivos. Por fim, os dados disponibilizados indicam que a capacidade máxima de carga de material ensacado não corresponde aos valores partilhados pelo responsável da unidade fabril;
- No cenário de chegada de um navio com matérias-primas, as conclusões relativas ao cimento ensacado não se alteram. No mesmo sentido, os dados sugerem que o recebimento de material proveniente do navio, num período de 8h, é irrealista, o que confirma as inferências relativas a períodos de trabalho alongados nas alturas de receção de material via marítima. Com a introdução do novo tipo de camião de transporte de matérias-primas, os dados sugerem que o tempo médio de espera das entidades em parque é afetado negativamente;
- No último cenário foram introduzidas duas alterações: (i) a normalização da procura; (ii) e a adequação da fábrica ao nível proposto de capacidade máxima referido no modelo “fluxo máximo”.
 - Com a normalização da procura, os dados recolhidos sugerem que o efeito da normalização é positivo no tempo médio dos camiões de caixa aberta no sistema, comparando com o modelo 2. O número médio de camiões de caixa aberta em fila de espera na área do armazém diminui de 12 para 8, o que pode refletir o efeito da chegada mais faseada das entidades ao local. As restantes métricas não sofrem alterações significativas.
 - A adequação da fábrica à capacidade máxima sugerida de 30000 sacos diários de cimento causa uma redução de fluxos, o que, influencia a capacidade de resposta da

unidade fabril aos seus clientes. Os dados indicam que a adequação por parte da unidade fabril a um plano objetivo e aprimorado tem um efeito positivo nos elementos mais críticos. Verificou-se também que o tempo médio de espera dos camiões de matéria-prima sofreu ganhos significativos, passando de uma média de 1 hora e 27 para aproximadamente 40 minutos. No entanto, o tempo médio no sistema não sofreu alterações significativas, o que sugere que o *bottleneck* seja o próprio processo de descarga da matéria-prima.

De referir também o facto de em nenhum modelo ser possível o processamento total dos camiões de matérias-primas o que sugere que a fábrica, nas condições estudadas, em dia de receções de matérias-primas por via marítima, vai sempre laborar em horário alargado.

Em termos de trabalho futuro, a base desenvolvida na presente dissertação possibilita o estudo de instâncias de maiores dimensões como as analisadas no subcapítulo 2.1.4. No entanto, todos os casos são particulares e será necessária uma adequação lógica e gráfica por cada fábrica modelada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustina, D., Lee, C. K. M., & Piplani, R. (2010). A Review : Mathematical Modles for Cross Docking Planning, *2*(2), 47–54.
- Aksyonov, K., Bykov, E., Aksyonova, O., Goncharova, N., & Nevolina, A. (2015). Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP).
- April, J., Glover, F., Kelly, J. P., & Laguna, M. (2003). Practical introduction to simulation optimization. *Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.03EX693)*, 71–78.
- Arikan, E., Fichtinger, J., & Ries, J. M. (2014). Impact of transportation lead-time variability on the economic and environmental performance of inventory systems. *International Journal of Production Economics*, *157*(1), 279–288.
- Arvis, J. F., Raballand, G., & Marteau, J. F. (2007). The Cost of Being Landlocked: Logistics Costs and Supply Chain Reliability. *Transit*, 1–81.
- Banco Português de Investimento. (2016). Relatório crescimento BPI. *Mercados Financeiros*, 7–12. Retrieved from http://www.bancobpi.pt/content/conn/UCM/uuid/dDocName:PR_WCS01_UCM01021912
- Barr, E. T., Harman, M., McMinn, P., Shahbaz, M., & Yoo, S. (2015). The oracle problem in software testing: A survey. *IEEE Transactions on Software Engineering*, *41*(5), 507–525.
- Bayoumi, M. M., & El-Bagoury, M. A. (1979). Self-tuning Adaptive control of cement raw material blending. *Automatica*, *15*(6), 693–694.
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., & Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*, *51*, 142–161.
- Bertelsen, S. (2003). Complexity – Construction in a New Perspective. *International Group of Lean Construction*, 12.
- Bilgen, B., & Ozkarahan, I. (2004). Strategic tactical and operational production-distribution models: a review. *International Journal of Technology Management*, *28*(2), 151–171.
- Brown, J. E., & Sturrock, D. (2009). Identifying cost reduction and performance improvement opportunities through simulation, (May), 2145–2153.
- Burns, A. S., Yee, J., Flett, H. M., Guy, K., & Cournoyea, N. (2013). Impact of benchmarking and clinical decision making tools on rehabilitation length of stay following spinal cord injury. *Spinal Cord*, *51*(2),

- Cachapuz. (2016). Cachapuz - História. Retrieved from <http://www.cachapuz.com/pt/content.asp?startAt=2&categoryID=636>
- Cachapuz. (2017). SLV Cement. Retrieved from www.slvcement.com
- Chen, C., Habert, G., Bouzidi, Y., & Jullien, A. (2010). Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. *Journal of Cleaner Production*, *18*(5), 478–485.
- Cheung, Y., & Bal, J. (1998). Process analysis techniques and tools for business improvements. *Business Process Management Journal*, *4*(4), 274–290.
- Cimento.Org. (2013). Maiores produtores mundiais de cimento. Retrieved from <http://cimento.org>
- Cottle, R. W. (2006). George B. Dantzig: A legendary life in mathematical programming. *Mathematical Programming*, *105*(1), 1–8.
- Cross, P., Geography, S. E., Jan, N., & Morrison, P. C. (2014). Cement Production and Trade on the Great Lakes CEMENT PRODUCTION AND TRADE ON THE GREAT LAKES, *20*(1), 37–53.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem.
- Daun, M., Salmon, A., Tenbergen, B., Weyer, T., & Pohl, K. (2014). Industrial Case Studies in Graduate Requirements Engineering Courses : The Impact on Student Motivation, (i), 3–12.
- Dauzère-Pères, S., & Lasserre, J.-B. (2002). On the importance of sequencing decisions in production planning and scheduling. *International Transactions in Operational Research*, *9*, 779–793.
- Demertzidis, N., Tsalis, T. A., Loupa, G., & Nikolaou, I. E. (2015). A benchmarking framework to evaluate business climate change risks: A practical tool suitable for investors decision-making process. *Climate Risk Management*, *10*, 95–105
- Desrochers, M., Lenstra, J. K., & Savelsbergh, M. W. P. (1990). A classification scheme for vehicle routing and scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, *46*(3), 322–332.
- Dias, L. M. S., Vieira, A. A. C., Pereira, G. A. B., & Oliveira, J. A. (2017). Discrete simulation software ranking -A top list of the worldwide most popular and used tools. *Proceedings - Winter Simulation Conference, 2015*, 1060–1071.
- Editors, S., Clausen, U., Robert, H., & Barbosa-póvoa, A. P. (2017). *Optimization and Decision Support Systems for Supply Chains*.
- Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P. V., Beaujon, G., Krishnan, S., & Tew, J. D. (2005). Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers. *European Journal of Operational Research*, *165*(1), 182–206.

- Estampe, D., Lamouri, S., Paris, J.-L., & Brahim-Djelloul, S. (2010). A framework for analysing supply chain performance evaluation models. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 1–11.
- Ezziane, Z. (2000). Evaluating customer service performance in warehousing environments. *Logistics Information Management*, 13(2), 90–94.
- Fortun, M., & Schweber, S. (1993). Scientists and the legacy of world war II: The case of operations research (OR).
- Fowler, J. W., & Rose, O. (2004). Grand Challenges in Modeling and Simulation of Complex Manufacturing Systems. *Simulation*, 80(9), 469–476.
- G. Van Oss, H. (2017). *U.S. Geological survey, Mineral Commodity Summaries*.
- Gagg, C. R. (2014). Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. *Engineering Failure Analysis*, 40, 114–140.
- Georgia, M., & Stamatias, M. (2013). 3D Simulation analysis of Patras new port operations in SIMIO platform environment.
- Ghiani, G., & Laporte, G. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*.
- Govindaraj, T., Blanco, E. E., Bodner, D. A., Goetschalckx, M., McGinnis, L. E., & Sharp, G. P. (2000). Design of warehousing and distribution systems: an object model of facilities, functions and information, (4), 1099–1104.
- Gunasekaran, A., Patel, C., & McGaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3), 333–347.
- Hsu, C. I., & Tsai, I. J. (1999). Logistics cost, consumer demand, and retail establishment density. *Papers in Regional Science*, 78(3), 243–263.
- Huang, T., Shi, F., Tanikawa, H., Fei, J., & Han, J. (2013). Materials demand and environmental impact of buildings construction and demolition in China based on dynamic material flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 72, 91–101.
- IEA. (2010). Cement Production. *Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP)*, (June), 1–8. Retrieved from http://www.etsap.org/E-techDS/PDF/I03_cement_June_2010_GS-gct.pdf
- InterCement. (2013). Cimpor - Plataforma de exportação. Retrieved from http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/industria/detalhe/cimpor_diz_estar_a_tentar_criar_a_partir_de_portugal_uma_plataforma_de_exportacao
- Itambé. (2014). Processo de fabricação de cimento Itambé. Retrieved from <http://www.cimentoitambe.com.br/processo-fabricacao-cimento/video.php?t=6>

- Johansson, H. J., McHugh, P., Pendlebury, A. J., & III, W. A. W. (1993). Business Process Reengineering, 556.
- Kamble, S. S., Raoot, A. D., & Raut, R. D. (2011). Reengineering in-plant logistics: a case study of Cement Manufacturing Plant in India. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 10(1), 19.
- Lai, F., Li, D., Wang, Q., & Zhao, X. (2008). The information technology capability of third-party logistics providers: A resource-based view and empirical evidence from China. *Journal of Supply Chain Management*, 44(3), 22–38.
- Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S., & Subba Rao, S. (2006). The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. *Omega*, 34(2), 107–124.
- Limaño, N. (2001). Infrastructure, Geographical Disadvantage and Transport Costs and Trade. *The World Bank Economic Review*, 15(3), 451–479.
- Longenecker, C. O., & Scazzero, J. a. (2000). Case studies Improving service quality : a tale of two operations. *Managing Service Quality*, 10(4), 227–232.
- Lummus, R. R., Krumwiede, D. W., Vokurka, R. J., Lummus, R. R., Krumwiede, D. W., & Vokurka, R. J. (2001). Industrial Management & Data Systems Emerald Article : The relationship of logistics to supply chain management : developing a common industry definition The relationship of logistics to supply chain management : developing a common industry definition. *Industrial Management and Data Systems*, 101(8), 426–432.
- Machairas, V., Tsangrassoulis, A., & Axarli, K. (2014). Algorithms for optimization of building design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31(1364), 101–112.
- Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 29th Conference on Winter Simulation - WSC '97*, 7–13.
- Maria, V. (2014). Considerations on the concept of competition, (1), 24.
- Mason-Jones D.R., R. and T. (1999). Distribution Strategies of European Retailers. *Int J Logistics Management*.
- McKinsey&Company. (2015). The cement industry at a turning point: A path toward value creation. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/the-cement-industry-at-a-turning-point-a-path-toward-value-creation>
- Mentzer, J. T., Keebler, J. S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25.

- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in manufacturing: Review and challenges. *Procedia CIRP*, 25(C), 213–229.
- Myerson, P. (2015). *Supply Chain and Logistics Management Made Easy*.
- P. Basán, N., E. Cóccola, M., & A.Mendez, C. (2014). Optimizing the design and operation of a beer packaging line through an advanced simio-based des tool. *Winter Simulation Conference*, (1983), 2600–2608.
- Pegden, C. D. (2007). Simio: A new simulation system based on intelligent objects. *2007 Winter Simulation Conference*, 2293–2300.
- Pegden, C. D. (2010). Advanced tutorial: Overview of simulation world views. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 210–215.
- Pegden, D., & Sturrock, D. (2013). Rapid Modeling Solutions: Introduction to Simulation and Simio, 7, 130. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=vu7tngEACAAJ&pgis=1>
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1–11.
- Ramesh, B., Baul, U., & Srinivasan, V. (2016). An approach to bolster up the logistic link of supply chain in cement industries through value engineering techniques. *Indian Concrete Journal*, 90(7), 79–96.
- Raventós, P., & Zolezzi, S. (2015). Cement in Central America: Global players in a local industry. Teaching guide. *Journal of Business Research*, 69(2), 395–399.
- Ritzinger, U., Puchinger, J., & Hartl, R. F. (2016). A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems. *International Journal of Production Research*, 54(1), 215–231.
- Robinson, S. (2004). *Simulation: the practice of model development and use*. *Journal of Simulation*.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2011). The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain, 7–9.
- Sanders, N. R., Locke, A., Moore, C. B., & Autry, C. W. (2007). A multidimensional framework for understanding outsourcing arrangements. *Journal of Supply Chain Management*, 43(4), 3–15.
- Schriber, T., & Brunner, D. (2005). Inside discrete-event simulation software: how it works and why it matters. *Environment*, (1), 202–208.
- Secil. (2006). *Processo de fabrico de cimento*. Retrieved from <http://www.secil.pt/pdf/Processo de Fabrico de Cimento.pdf>
- Shetty, M. S. (2006). Concrete technology - Theory and Practice, 1–607.
- Smith, J. S., & Nelson, B. L. (2015). Estimating and interpreting the waiting time for customers arriving to a non-stationary queueing system, 2610–2621.

- Solakivi, T., Töyli, J., & Ojala, L. (2013). Logistics outsourcing, its motives and the level of logistics costs in manufacturing and trading companies operating in Finland. *Production Planning & Control*, 24(4–5), 388–398.
- Song, L., & Eldin, N. N. (2012). Adaptive real-time tracking and simulation of heavy construction operations for look-ahead scheduling. *Automation in Construction*, 27, 32–39.
- Sørgard, L. (1992). Multi-product incumbent and a puppy dog entrant. Some simulations for the Norwegian cement market. *International Journal of Industrial Organization*, 10(2), 251–271.
- Stock, G. N., Greis, N. P., & Kasarda, J. D. (2000). Enterprise logistics and supply chain structure: The role of fit. *Journal of Operations Management*, 18(5), 531–547.
- Supino, S., Malandrino, O., Testa, M., & Sica, D. (2016). Sustainability in the EU cement industry: The Italian and German experiences. *Journal of Cleaner Production*, 112, 430–442.
- Ulubeyli, S. (2017). Industry-wide competitiveness assessment through fuzzy synthetic evaluation: the case of cement industry. *Journal of Business Economics and Management*, 18(1), 35–53.
- Vieira, A., Dias, L., Pereira, G., & Oliveira, J. (2010). Comparison of simio and arena simulation tools.
- Vik, P., Dias, L., Pereira, G., Oliveira, J., & Abreu, R. (2010). Using SIMIO for the specification of an integrated automated weighing solution in a cement plant. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 1534–1546.
- Wang, X. R., Hui, E. C. M., Choguill, C., & Jia, S. H. (2015). The new urbanization policy in China: Which way forward? *Habitat International*, 47, 279–284.
- Xue, C. Q. L., Wang, Y., & Tsai, L. (2013). Building new towns in China - A case study of Zhengdong New District. *Cities*, 30(1), 223–232.
- Yang, K. K., Balakrishnan, J., & Cheng, C. H. (2010). An analysis of factors affecting cross docking operations, 31(1), 121–148.
- Yin, H., Hou, Z., Zhang, L., Zhang, X., Wang, Z., & Li, Z. (2016). Cement raw material quality analysis using laser-induced breakdown spectroscopy. *J. Anal. At. Spectrom.*, 31(12), 2384–2390.
- Young, J., Blau, G., Pekny, J. F., Reklaitis, G. V., & Eversdyk, D. (2004). A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty *Ω*, 28, 2087–2106.
- Yunna, W., & Yisheng, Y. (2014). The competition situation analysis of shale gas industry in China: Applying Porter's five forces and scenario model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 798–805.

- Zhang, K., Wu, R., Ning, J., Zhang, X., & Du, H. (2011). Using Simio for wartime casualty treatment simulation. *ITME 2011 - Proceedings: 2011 IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education, 2*, 322–325.
- Zheng, Q., Shen, J., Liu, Z. Q., Fang, K., & Xiang, W. (2011). Resource allocation simulation on operating rooms of hospital. *2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IE and EM 2011, (PART 3)*, 1744–1748.