



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Gabriel Bento Ferreira Barbosa

**Otimização de linha de montagem:
Sistemas de manuseamento de
material**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Gabriel Bento Ferreira Barbosa

**Otimização de linha de montagem:
Sistemas de manuseamento de material**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Gabriel Bento Ferreira Barbosa

**Otimização de linha de montagem:
Sistemas de manuseamento de material**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Mecânica

Área de especialização em manufatura avançada

Trabalho efetuado sob a orientação do(a):

Professor Doutor José Luís Alves

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A dissertação marca uma das etapas finais no percurso académico, percurso este que proporcionou inúmeras aprendizagens, tanto a nível teórico como interpessoal. Não poderia concluir esta etapa sem agradecer aqueles que mais me apoiaram.

Ao meu Orientador, Professor Luís Alves que ajudou a estruturar e definir o estudo e que sempre se demonstrou disponível para colaborar com a investigação.

Aos engenheiros, Rui Barbosa e Pedro Dias por me inserirem na equipa da ROQ, onde sempre me senti acolhido, e pelo apoio e colaboração constante no projeto.

Aos amigos e família pelo apoio incondicional durante toda esta fase.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Esta tese foca-se na otimização e melhoria de uma linha de montagem, com especial atenção em sistemas de manuseamento e transporte de material, para ser implementado numa oficina da ROQ. Atualmente, o transporte de material é feito manualmente recorrendo-se a empilhadoras. Um estudo inicial da estratégia utilizada atualmente na empresa, permitiu definir o *outline* da linha de montagem, assim como o sistema de manuseamento de material a utilizar, que se trata de um veículo guiado por carril (RGV). De seguida, modelou-se o chassi do RGV, de modo a se perceber as cargas que iriam atuar no mesmo e como afetariam a estrutura e os seus apoios. Estas foram, posteriormente, calculadas a partir de valores assumidos para as dimensões do RGV. Posteriormente, foi calculado o torque e potência necessária para tracionar o veículo, o que permitiu definir um motor e suas especificações. Por fim, realizou-se estudos numéricos através de uma simulação computacional para se prever se a estrutura do RGV possuiria resistência mecânica suficiente para promover o correto funcionamento da linha de montagem.

PALAVRAS-CHAVE

VEÍCULO GUIADO POR CARRIL; MANUSEAMENTO DE MATERIAL; ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

ABSTRACT

This thesis focuses on the optimization and improvement of an assembly line, with special attention to material handling and transport systems, to be implemented in a ROQ workshop. Currently, the transport of material is done manually using forklifts. An initial study of the strategy currently used in the company, allowed the definition of the outline of the assembly line, as well as the material handling system to be used, which is a rail guided vehicle (RGV). Next, the RGV chassis was modeled, in order to understand the loads that would act on it and how they would affect the structure and its supports. These were subsequently calculated based on values assumed for the RGV dimensions. Afterwards, the torque and power required to drive the vehicle were calculated, which allowed the definition of an engine and its specifications. Finally, numerical studies were carried out using a computer simulation to predict whether the RGV structure would have sufficient mechanical strength to promote the correct functioning of the assembly line.

KEYWORDS

RAIL GUIDED VEHICLE; MATERIAL HANDLING; FINITE ELEMENTS ANALYSIS

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Índice	vi
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tabelas.....	x
Lista de Símbolos.....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Topic Overview – Planemaneto Industrial	2
1.2.1. Sistemas de transporte	3
1.2.2. Mecanismos de transporte	5
1.2.2.1. Transporte linear.....	5
1.2.2.2. Transporte circular	6
1.2.3. Sistema de <i>Buffer</i>	8
1.2.4. Fluxo em estações de trabalho	8
1.2.4.1. Padrões de fluxo	9
1.2.5. Requisitos de Espaço.....	10
1.2.5.1. Especificações em estações de trabalho	11
1.2.6. Manuseamento de Material	13
1.2.6.1. Definição de manuseamento de material	13
1.2.6.2. Princípios de manuseamento de material.....	14
1.2.6.3. Equipamento de manuseamento de material.....	15
1.3. Grupo ROQ.....	15
1.4. Objetivos e Resultados Esperados.....	16
1.5. Outline de Dissertação	16

2.	Teoria	19
2.1.	Cinética de um veículo.....	19
2.1.1.	Resistência de Rolamento	19
2.1.2.	Força de tração.....	21
2.1.3.	Potência e torque através da força de tração.....	21
3.	Estrutura do projeto.....	23
3.1.	Filosofia Kaizen	23
3.2.	Espaço e Estratégia Atual	24
3.3.	Constrangimentos e limitações	26
3.4.	Estudo preliminar	27
3.4.1.	Estudo da Linha de Montagem	27
3.4.2.	Estudo do sistema de manuseamento de material	28
3.4.3.	Estudo do sistema de elevação	33
4.	Dimensionamento sistema	35
4.1.	Análise do Chassi	35
4.1.1.	Estudo Numérico Chassi RGV V1.....	36
4.2.	Análise do sistema de rodas	47
4.3.	Seleção do motor.....	51
4.4.	Seleção da bateria	53
4.5.	Compartimento de componentes eletrônicos	54
5.	Considerações finais.....	57
5.1.	Trabalho Futuro	57
	Anexos.....	59
	Anexo A: Equipamento de manuseamento de material.....	61
	A.1. Recipientes e equipamento de unitização	61
	A.1.1. Recipientes	61
	A.1.1.1. Paletes	61

A.1.1.2. Skids e skid boxes	62
A.1.1.3. Bandejas de armazenamento.....	62
A.1.2. Unitizadores.....	63
A.1.2.1. <i>Stretchwrap</i>	63
A.1.2.2. Paletizadores	63
A.2. Equipamento de transporte de material	64
A.2.1. Transportadoras	64
A.2.1.1. Corrediças.....	65
A.2.1.2. Tapete transportador	65
A.2.1.3. Rolos transportadores	66
A.2.1.4. Rodas transportadoras	67
A.2.1.5. Transportadoras de ripas	67
A.2.1.6. Correntes transportadoras.....	68
Referências Bibliográficas	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de veio andante.....	5
Figura 2 Tapete de rolos motorizados	6
Figura 3 Tapete motorizado por correntes.....	6
Figura 4 Sistema de roquete.....	7
Figura 5 Mecanismo de Genebra.....	7
Figura 6 Sistema de cam	7
Figura 7 Solicitações num veículo em movimento (tração a frente).....	19
Figura 8 Representação da resistência de rolamento	20
Figura 9 Máquina ROQ ECO	24
Figura 10 Modelo esquemático da linha de montagem.....	28
Figura 11 Exemplificação AGV	29
Figura 12 Exemplificação RGV	29
Figura 13 Protótipo elevador hidráulico.....	33
Figura 14 Calço de elevação.....	34
Figura 15 Chassi com os calços de elevação montados	34

Figura 16 Chassi protótipo V1.....	37
Figura 17 Constrangimentos Chassi V1	38
Figura 18 Elementos parabólicos tetraédricos	38
Figura 19 Solicitações Chassi V1	39
Figura 20 Tensões principais de Von Mises chassi V1	40
Figura 21 <i>Displacement</i> no chassi V1.....	40
Figura 22 Protótipo chassi V2	41
Figura 23 Tensões principais de Von Mises Chassi V2.....	41
Figura 24 <i>Displacement</i> Chassi V2	42
Figura 25 Protótipo Chassi V3.....	43
Figura 26 Constrangimentos Chassi V3	44
Figura 27 Solicitações Chassi V3	44
Figura 28 Tensões principais de Von Mises Chassi V3.....	46
Figura 29 <i>Displacement</i> Chassi V3	46
Figura 30 Rodízio LH-ALB 250K.....	48
Figura 31 Roda ALB 200/20K	49
Figura 32 Rolamento de rolos pareados dispostos em O.....	49
Figura 33 Montagem de rolamento em mancal fechado.....	50
Figura 34 Arruela de fixação	50
Figura 35 Porca de fixação	51
Figura 36 Rodízio frontal.....	51
Figura 37 Kit de motorização RGV	52
Figura 38 Bateria de lítio.....	54
Figura 39 Corrediça telescópica.....	55
Figura 40 Sistema de gaveta	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Propriedades mecânicas aço S235JR	37
Tabela 2 Características do rodízio LH-ALB 250K	48
Tabela 3 Características do rodízio LH-ALB 250K	48
Tabela 4 Parâmetros para cálculo da força de tração	52
Tabela 5 Especificações técnicas do modelo GM-010320.....	53
Tabela 6 Especificações técnicas da bateria	54
Tabela 7 Especificações técnicas da corredeira DZ3308-2.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas, abreviaturas e acrónimos

AGV	Automated guided vehicles;
RGV	Rail guided vehicles;
CAM	Manufatura assistida por computador;
CAE	Engenharia assistida por computador;
CAD	Conceção assistida por computador;
FEA	Análise de elementos finitos;

1. INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

A alta exigência de um mercado cada vez mais competitivo, juntamente com o rápido avanço tecnológico na atualidade, força muitas empresas a adotarem estratégias para otimizar os seus processos de montagem e elevar a qualidade dos seus produtos, além de estudarem continuamente, métodos para ajustar e melhorar o sistema de produção, de modo a se manterem atualizadas no mercado.

Quando se refere a processos de montagem num ambiente industrial de equipamento de elevada carga, o manuseio e transporte do mesmo será de elevada importância, visto que, em espaços fechados, terá de se ter o maior cuidado e segurança com este tipo de equipamento.

Podendo-se otimizar este processo, aumentando o fluxo de produção, assim como a segurança do processo de todo o processo, tanto por simplificando as tarefas e eliminando a possibilidade de erro humano, sempre que possível, melhorando a ergonomia do sistema, poder-se-á, conseqüentemente, impactar positivamente a rentabilidade potencial da empresa.

Durante muito tempo, o método mais aplicado para transporte e manuseio de cargas elevadas tem sido levado a cargo por empilhadoras e guias. Atualmente, a tendência em grandes empresas é recorrer ao uso de sistemas como, *automated guided vehicles* (AGV), *Rail guided vehicles* (RGV), sistemas de tapetes e sistemas de elevação hidráulicos, mecânicos, pneumáticos, etc...

A redução da intervenção do ser humano nestas situações pode trazer alguns pontos negativos, principalmente a falta de flexibilidade que sistemas cada vez mais automatizados acarretam. Porém, quanto menor for a intervenção humana neste tipo de trabalhos, maior será a segurança nestes ambientes, que é um tema que tem ganho cada vez mais destaque na indústria, visto que sistemas automatizados e semi automatizados podem trabalhar em condições que poderiam comprometer a integridade física humana, e, caso recorra um acidente, a probabilidade de uma lesão no local de trabalho é bastante reduzida.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

O objetivo desta dissertação é melhorar, juntamente com a empresa ROQ, o sistema de transporte do equipamento ECO na sua linha de montagem, tanto na sua ergonomia, olhando à redução de tempo na montagem, uma maior segurança e conforto nos processos de montagem. Tendo sempre em atenção e respeitando os constrangimentos impostos pela ROQ.

1.2. TOPIC OVERVIEW – PLANEMANETO INDUSTRIAL

Planeamento industrial tem sido um tema cada vez mais estudado e aplicado em termos práticos na última década, que inicialmente, no passado, era só teórico, mas que, presentemente, no mercado global que é cada vez mais competitivo é uma estratégia importantíssima, principalmente em linhas de montagem (Tompkins J. A.,2003).

Num projeto de linha de montagem há certos pontos que devem ser seguidos, de modo a atingir a excelência no fluxo de montagem:

-
- FLEXIBILIDADE, A CAPACIDADE QUE UMA EMPRESA TEM DE CUMPRIR VÁRIOS REQUISITOS SEM QUE SEJA ALTERADA;
 - MODULARIDADE, EMPRESAS MODULARES POSSUEM SISTEMAS QUE COOPERAM DE FORMA EFICIENTE A DIFERENTES ANDAMENTOS DE OPERAÇÃO;
 - *UPGRADABILITY*, EMPRESAS COM CAPACIDADE DE ATUALIZAÇÃO, INCORPORAM AVANÇOS NOS SEUS SISTEMAS E TECNOLOGIA FACILMENTE;
 - ADAPTABILIDADE, DEVEM TER EM CONTA CALENDÁRIOS, CICLOS E PICOS EM HORÁRIOS;
 - OPERABILIDADE SELETIVA, QUE É RELATIVO À CAPACIDADE DE UMA EMPRESA DE TER PLANOS DE CONTINGÊNCIA QUE SÃO APLICADOS FACILMENTE SEM REPERCUSSÕES NEGATIVAS;
 - AMIGO DO AMBIENTE, ENVOLVE ADOTAR O *LEED*, QUE DEVE GARANTIR A SEGURANÇA NAS ÁREAS CHAVE DA SAÚDE AMBIENTAL HUMANA.

É necessária uma aproximação holística quando há um estudo industrial de fluxo de uma linha de montagem:

-
- INTEGRAÇÃO TOTAL – INTEGRAÇÃO DOS MATERIAIS E INFORMAÇÃO NO FLUXO DE TRABALHO;
 - ELIMINAR FRONTEIRAS – ELIMINAÇÃO DAS RELAÇÕES TRADICIONAIS FORNECEDOR/CLIENTE E MANUFATURA/ARMAZÉM, ETC...
 - CONSOLIDAÇÃO – JUNÇÃO DE ENTIDADES E EMPRESAS DE NEGÓCIO SIMILARES, QUE RESULTARÁ NUMA MENOR, MAS MAIS FORTE COMPETIÇÃO;

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

- CONFIABILIDADE – SISTEMA RESISTENTE E SEGURO;
- MANUTENÇÃO – MANUTENÇÕES DE ROTINA E DE PREVENÇÃO DEVEM SER LEVADAS A CABO, DE MODO A MANTER O BOM FUNCIONAMENTO DO SISTEMA E PREVER POSSÍVEIS PROBLEMAS NAS OPERAÇÕES DE MONTAGEM;
- PROGRESSIVIDADE ECONÓMICA – ADOÇÃO DE TÁTICAS FISCAIS INOVADORAS.

Em planeamento industrial, o fluxo deve ser continuamente atualizado e melhorado para atingir a excelência.

Ao dimensionar uma linha de montagem, há que ter em conta o fluxo do sistema, relação entre atividades e o espaço requerido. O fluxo depende da produção, encomendas, dimensão das peças e das cargas, *layout* e configurações de produção. O cálculo da relação entre atividades envolve o entendimento das máquinas e de cada estação de montagem. O espaço requerido irá depender, da dimensão e tipos de peças e equipamentos a ser manuseados, design e configuração do edifício.

Linhas de montagem podem ter duas configurações possíveis, podem ser do tipo *in-line*, ou em *loop*. A primeira consiste numa sequência de estações de trabalho numa linha reta (podendo ter curvas de 90° e rearranjos na sua configuração, muito devido às limitações do espaço), sendo considerado um sistema aberto, em que há, evidentemente, um início e um fim. No segundo caso, as estações de trabalho estão dispostas circularmente, formando um *loop* fechado, onde início e fim não estão bem determinados no sistema.

A escolha de qual sistema a utilizar vai depender, essencialmente, da aplicação e do caso em estudo. A linha de montagem em *loop* é comumente utilizada em espaços de trabalho limitados, no que toca ao espaço disponível, e quando se trata de um número reduzido de estações de trabalho. Este sistema peca na flexibilidade e pela dificuldade de introduzir um sistema *buffer*, porém, envolve custos menores e requer menos espaços na sua montagem.

No *design in-line*, um espaço de montagem maior é preferível para acomodar mais estações de trabalho, uma estação de *buffer* é mais facilmente incorporada neste sistema, assim como um armazenamento interno que irá melhorar o efeito de paragens em cada estação aumentando a produtividade.

1.2.1. SISTEMAS DE TRANSPORTE

O mecanismo de transporte numa linha de montagem, não tem apenas de transportar as peças de uma estação para a outra, mas também tem que saber posicioná-la no local

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

correto para facilitar o trabalho realizado em determinada estação. Assim sendo, os métodos conhecidos de transporte de material em linhas de montagem são:

-
- TRANSPORTE CONTÍNUO
 - TRANSPORTE INTERMITENTE OU SÍNCRONO
 - TRANSPORTE ASSÍNCRONO

A diferença entre estes métodos, reside no tipo de movimento das peças entre estações. A escolha do método mais apropriado vai depender do tipo de operações a realizar em cada estação, o número de estações na linha, a dimensão e peso dos componentes a ser transportados, se irão existir estações de trabalho manual e seu número, de restrições de produção e do equilíbrio entre a duração de cada etapa na sua respetiva estação.

No método de transporte contínuo, os componentes são movidos continuamente a uma velocidade constante, o que requer que haja um movimento solidário do robot de montagem, de modo a registar a montagem completa ao longo do movimento dos componentes, porém, a dimensão destes robots pode interferir no acompanhamento com o componente, que constitui num ponto negativo. É um método bastante utilizado em situações como engarrafamento de bebidas ou montagem manual, em que a pessoa pode-se mover com o fluxo da linha de montagem. Este método é bastante fácil de projetar e, quando conseguido, permite atingir uma elevada cadência de produção.

Com o método intermitente ou síncrono, os componentes são movidos de forma descontínua, em que as estações de trabalho estão fixas e as partes são transportadas entre estas e registadas na posição pretendida. De notar, que todas as partes são movidas ao mesmo tempo (síncrono). Muito utilizado em montagem mecanizada, operações de estampagem ou furação. Este método obriga que em cada estação se realize a operação ao mesmo tempo e com a mesma duração.

Transporte assíncrono, como o nome indica, cada componente é movido independentemente dos restantes quando determinada operação é determinada, o que permite que, enquanto algumas peças estão a ser trabalhadas numa estação, outras estão a ser transportadas entre estações. Oferece maior flexibilidade que os métodos restantes e cada estação pode ter armazenamento de componentes necessários ao trabalho na sua zona com relativa facilidade, pode ainda compensar qualquer contratempo numa estação, visto que quando terminada a operação, o componente pode ser movido a seu tempo. Quando há necessidade de uma ou mais estações serem de operações manuais ou quando existe uma

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

grande discrepância entre a duração de cada operação (algo que constituiria um problema nos restantes métodos), este método é o mais apropriado. Um dos pontos negativos é que, o ritmo de produção é geralmente menor que nos restantes métodos.

Alguns destes métodos de transporte são acomodados com paletes de fixação, em que as partes são fixadas na posição pretendida e as paletes são transferidas entre estações. Este sistema é utilizado para que as peças sejam transportadas, localizadas e fixadas na posição correta nas sucessivas estações e como a parte se encontra fixada esta será corretamente posicionada em cada operação. É um sistema que permite ainda, que se utilizem componentes semelhantes, cuja fixação possa ser reutilizada.

1.2.2. MECANISMOS DE TRANSPORTE

Existem vários mecanismos que podem ser utilizados na transferência de componentes, estes podem ser agrupados caso a sua utilização seja destinada a fluxo linear ou circular.

1.2.2.1. TRANSPORTE LINEAR

Para mecanismos de transporte linear utiliza-se três mecanismos típicos: o sistema de veio andante, de tapete de rolos motorizados e tapete motorizado por corrente.

No sistema de veio andante, os componentes são levantados por um veio que lhes transfere esse movimento, passando para a estação seguinte. O veio desce as peças para um posicionador que as irá fixar corretamente, este sistema está exemplificado na figura abaixo.

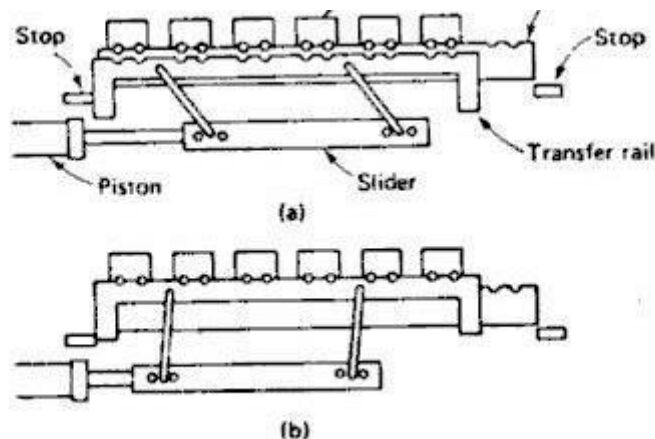


Figura 1 Sistema de veio andante

O sistema de tapete de rolos motorizados é usado geralmente em linhas automatizadas para transportar componentes com base reta. Podem ser motorizados por um cinto de fricção,

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

que confere o movimento de rotação aos rolos, ou podem ser motorizados por correntes. É um sistema bastante versátil para um fluxo linear ou com curvas.



Figura 2 Tapete de rolos motorizados

Tapete motorizado por correntes, estas são guiadas por polias com configuração “*over and under*”, em que as polias rodam em torno do eixo horizontal, ou com configuração “*around-the-corner*”, em que as polias rodam em torno do eixo vertical.

Este sistema é usado para movimento contínuo, intermitente ou assíncrono.



Figura 3 Tapete motorizado por correntes

1.2.2.2. TRANSPORTE CIRCULAR

Os métodos de transporte circular mais utilizados são o de pinhão e cremalheira, o sistema de roquete, o mecanismo de Genebra e os mecanismos de came.

O sistema de pinhão-cremalheira não é especialmente usado para operações de elevada velocidade. Neste design, um pistão irá guiar a cremalheira, que faz girar o pinhão que, em contacto com a mesa circular, lhe transmite o movimento. Geralmente, utiliza-se uma embraiagem para guiar a mesa na direção pretendida.

No sistema de roquete, o desgaste e encravamento são bastante recorrentes, o que o torna num sistema pouco fiável.

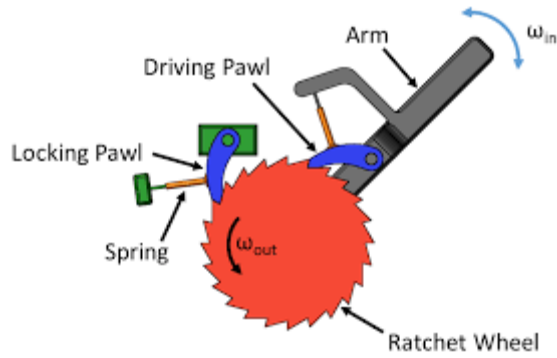


Figura 4 Sistema de roquete

Mecanismo de Genebra utiliza um acionamento rotativo que transmite o movimento à mesa.

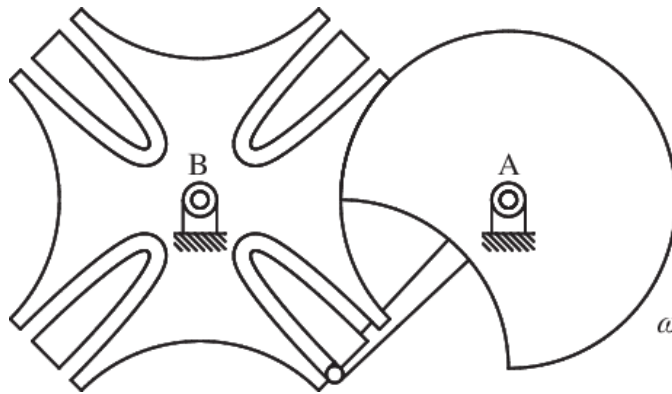


Figura 5 Mecanismo de Genebra

Os mecanismos de came são os que garantem o método mais fiável para um sistema circular, e pode ser projetado para várias velocidades de ação. Apesar do investimento relativamente elevado, é um sistema que é muito utilizado na indústria.

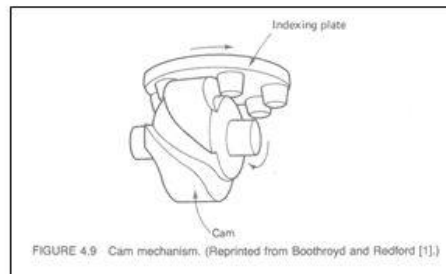
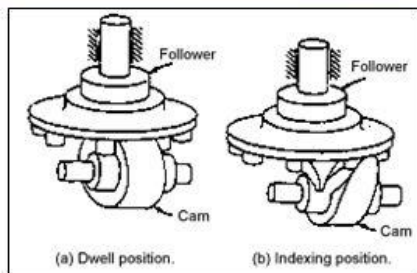


Figura 6 Sistema de came

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

1.2.3. SISTEMA DE *BUFFER*

Os sistemas de *buffer* são utilizados especialmente em linhas de montagem de modo a garantir o correto funcionamento da linha, tendo o efeito de sistema “suplente” quando há uma falha na linha.

A principal razão para a utilização de um sistema de *buffer* é reduzir o efeito de falhas individuais numa estação de trabalho. Constituem falhas numa estação de montagem quando: há ajustamentos ou falhas nas ferramentas, trocas agendadas de ferramentas, componentes de funcionamento das linhas de montagem que estejam defeituosos, problemas elétricos ou problemas mecânicos.

Desvantagens de sistemas de *buffer* são o aumento de espaço necessário para o projeto, um inventário necessariamente maior, mais equipamento de manuseamento de material e um projeto mais complexo, sendo que as vantagens, normalmente são superlativas às desvantagens.

1.2.4. FLUXO EM ESTAÇÕES DE TRABALHO

Quando se refere a fluxo de trabalho, está-se a descrever o movimento de partes, materiais, bens, informação, pessoas, ... Por exemplo, no movimento de determinado produto, desde a sua manufatura até sua chegada à cadeia de distribuição e venda ao cliente. Esse movimento, pode ser denominado como fluxo do sistema.

O fluxo pode ser discreto ou contínuo, em que, no primeiro, como indicado pelo nome, o movimento dos itens é discreto, no sentido em que, estes experienciam paragens em postos de trabalho (estações de trabalho). Em oposição, como fluxo contínuo, tem-se o movimento contínuo de fluidos numa cadeia de produção ao longo de vários estados de produção. O foco principal neste projeto será o fluxo do tipo discreto.

A descrição do fluxo de um processo pode ser feita quanto: ao sujeito do fluxo, que representa o tipo de item a ser processado; os recursos para o processo a ser estudado, que representa os recursos de processamento e transporte requeridos para o projeto, disponibilizados pela empresa; a coordenação e comunicação dos recursos, referindo-se aos procedimentos que permitem a gestão do fluxo do processo.

Nesta tese, em que o problema é a otimização de uma linha de montagem, o projeto será referente a um sistema de fluxo de material.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Para um planeador industrial, é imperativo conhecer, de um modo geral, os vários sistemas de fluxo de material, de modo a se poder otimizar o processo ao máximo, conseguindo alienar o correto funcionamento do mesmo a uma minimização e simplificação do fluxo total, que garante um melhor controlo do desgaste de energia e dos recursos disponibilizados pela empresa. A simplificação de um sistema de fluxo de material pode ser atingida pelo planeamento da distribuição de materiais, informação e pessoal diretamente aos pontos fulcrais de trabalho, eliminando-se passos intermediários dispensáveis. Também se pode minimizar o fluxo se, em pontos consecutivos de fluxos múltiplos, os movimentos forem os mínimos possíveis, de preferência que se possa realizar o movimento em apenas uma etapa. Se se combinar operações e fluxos sempre que for possível, contribui-se para a simplificação do processo.

Resumidamente, devem-se eliminar passos não necessários, reduzir o trabalho manual ao diminuir o distanciamento entre estações de trabalho, eliminar trabalho manual ao automatizar ou mecanizar o fluxo do processo e simplificar o manuseamento de material ao reduzir a densidade do fluxo.

É importante, entre estações, estudar o movimento dos materiais e ergonomia, devendo projetar um fluxo natural, rítmico e habitual. Um fluxo natural é essencial para um fluxo rítmico e habitual, movimentos contínuos e que mantenham o andamento caracterizam um fluxo natural. Quando o fluxo é habitual e rítmico, há uma redução de fadiga do operador.

Entre estações de trabalho espera-se que o fluxo permita que o operador consiga trabalhar em mais que uma máquina, um trabalhador multifuncional pode-se envolver na melhoria constante de funções das operações, manutenções, melhoramento da qualidade de trabalho, manuseamento de material, trabalho de equipa e avaliação de aproveitamento do equipamento. O que significa que todos os componentes aliados ao processo, devem ser considerados de forma integrada.

1.2.4.1. PADRÕES DE FLUXO

Padrões de fluxos de trabalho serão diferentes consoante o tipo de trabalho e sistema aplicado, caso seja um sistema mecanizado ou automatizado, que envolverá, por exemplo, tapetes em constante movimento, RGV, AGV e robôs. Os padrões gerais de fluxo são: o de fluxo em linha, em que as estações de trabalho estão dispostas ao longo de uma linha, que não tem que ser necessariamente reta, quanto à disposição da linha, existem ainda vários sub-

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

padrões, como em “S”, “W” ou “U”. A sua escolha depender, essencialmente, do espaço disponível para o projeto, em que, para um fluxo em linha reta, está associado um espaço estreito, estando também associado um mau aproveitamento do espaço; padrão de fluxo em espinha, em que as estações de trabalho estão dispostas perpendicularmente ao fluxo principal por linhas unidirecionais ou bidirecionais, tanto de um só lado como dos dois. É um sistema bastante prático que pode ser facilmente combinado com outros padrões, caso seja intercalado com fluxos de departamentos diferentes dentro da empresa; padrão de fluxo em *loop*, no qual as estações de trabalho estão dispostas em volta de um *loop*, como, semelhantemente ao padrão referido anteriormente, o fluxo pode ser unidirecional assim como bidirecional. Caso as estações estejam dentro do *loop* é chamado de *outer loop* e *inner loop* caso as estações estejam fora; padrão de fluxo em árvore. As estações de trabalho podem estar posicionadas numa única árvore ou em múltiplas árvores que estão conectadas por um sistema de manuseamento de material em comum. É um padrão bastante comum em empresas que usem robôs no manuseamento de material para mover os componentes entre estações de trabalho (Ardavan & Gilbert, 2005).

De notar, que os vários padrões apresentados podem ser combinados e alterados de modo a serem assemblados para o projeto em estudo.

1.2.5. REQUISITOS DE ESPAÇO

No planeamento industrial, uma das tarefas mais herméticas é a determinação do espaço requerido para um projeto. Quando, num mercado e indústria em constante desenvolvimento tecnológico e económico, equipamentos e materiais são sucessivamente alterados, a incerteza, quanto ao espaço necessário, instaura-se, de modo a compensar esta ambiguidade do futuro, o planeador terá de determinar o espaço, inflacionando a estimativa do mesmo (Burbidge, 1971).

Posto isto, o espaço requerido terá de ser determinado de uma forma sistemática, em que, para tal, se deve sempre considerar o nível de inventário, unidades de armazenamento, métodos e estratégias de armazenamento, requisitos de equipamentos, limitações do edifício e requisitos de segurança para os colaboradores.

Em manufatura, deve-se determinar primeiramente o espaço requerido para as estações de trabalho, individualmente, e só de seguida é que se determina o espaço para o departamento inteiro, baseando-se nas restrições das estações.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

A modernização da indústria da manufatura, leva a uma atualização dos métodos de determinação do espaço. Sendo assim, acompanhando este desenvolvimento, está uma redução dos requisitos de espaço, visto que, os produtos são entregues ao seu destino em lotes cada vez mais pequenos e unidades mais leves, há uma descentralização das zonas de armazenamento, que se passam a localizar nas estações de trabalho, o inventário é reduzido, pois produtos não necessários são recorrentemente eliminados, as empresas, cada vez mais, adotam estratégias de descentralização de funções e exigem que os funcionários sejam multifacetados e que as equipas sejam de alto desempenho. Podendo-se afirmar que o *layout* das estações de trabalho é progressivamente mais eficaz.

1.2.5.1. ESPECIFICAÇÕES EM ESTAÇÕES DE TRABALHO

Uma estação de trabalho consiste numa área que contém ativos necessários para a realização de uma operação ou conjunto de operações, a produtividade de cada estação irá afetar diretamente a produtividade geral da empresa.

A estação terá de ter espaço para equipamento, materiais e pessoal. No que toca a espaço para equipamento, refere-se ao equipamento em si, percurso de máquinas, manutenção das máquinas e serviços da empresa, como instalações elétricas de ar comprimido, etc...

Os requisitos de espaço de cada equipamento ou máquina devem estar bem definidos no manual de utilizador do fornecedor ou da marca. Para máquinas já em operação, estes requisitos já são conhecidos, caso o equipamento seja novo e não exista um manual com as imposições necessárias, as condições seguintes devem ser determinadas:

-
- TIPO DE MÁQUINA E MARCA
 - MODELO DA MÁQUINA E NÚMERO DE SÉRIE
 - LOCALIZAÇÃO DOS “STOPS” DE EMERGÊNCIA DA MÁQUINA
 - CARREGAMENTO NO CHÃO
 - ALTURA ESTÁTICA NO PONTO MÁXIMO
 - MÁXIMO PERCURSO VERTICAL
 - COMPRIMENTO MÁXIMO ESTÁTICO
 - PERCURSO MÁXIMO À ESQUERDA
 - PERCURSO MÁXIMO À DIREITA

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

- PROFUNDIDADE MÁXIMA ESTÁTICA
- PERCURSO MÁXIMO EM DIREÇÃO AO OPERADOR
- PERCURSO MÁXIMO EM DIREÇÃO OPOSTA AO OPERADOR
 - REQUISITOS E ÁREAS DE MANUTENÇÃO
- REQUISITOS E ÁREAS DE SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO

Quando se refere a espaço para material na estação de trabalho, este consiste no armazenamento e receção de materiais, detenção de materiais para processamento, armazenamento de material para saída, armazenamento de desperdícios e sucata e armazenamento de ferramentas e materiais de manutenção.

De modo a se determinar a área requerida para armazenamento e receção de materiais, detenção de materiais para processamento e detenção de materiais de saída, as dimensões das unidades de carga e o fluxo de material, tanto na entrada como na saída, devem ser determinados. É importante que haja um espaço indicado para o despejo de desperdícios e sucata das operações realizadas. Fica a penas a faltar espaço para ferramentas e materiais de manutenção, que vai depender dos *setups* da máquina (Ho & Moodie, 1998).

O espaço para pessoal irá consistir na área de trabalho do operador, manuseamento de material e entrada e saída do operador.

Os requisitos de espaço para o trabalho do operador e manuseamento de material dependem do método para a realização das operações pretendidas. O método utilizado deve ser determinado com a validação de estudos de ergonomia e movimentos do operador, para tal pode-se seguir os seguintes fatores:

-
1. O DESIGN DA ESTAÇÃO DE TRABALHO DEVE SER TAL QUE O OPERADOR CONSIGA PEGAR E LARGAR MATERIAIS SEM QUE DEVA ANDAR OU FAZER ESFORÇOS DESNECESSÁRIOS
 2. O DESIGN DA ESTAÇÃO DE TRABALHO DEVE SER TAL QUE A SUA UTILIZAÇÃO PELO OPERADOR SEJA EFICAZ E EFICIENTE
 3. A ESTAÇÃO DE TRABALHO DEVE SER DESENHADA PARA DIMINUIR O TEMPO GASTO EM MANUSEAMENTO DE MATERIAL
 4. A ESTAÇÃO DE TRABALHO DEVE SER DESENHADA PARA MAXIMIZAR A SEGURANÇA, O CONFORTO E A PRODUTIVIDADE DO OPERADOR
 5. A ESTAÇÃO DE TRABALHO DEVE SER DESENHADA PARA MINIMIZAR PERIGOS, FADIGA E CANSAÇO OCULAR DO OPERADOR

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Em adição, deve haver um espaço apropriado para a entrada e saída do operador na estação de trabalho, sendo para o início e fim do turno, saídas para almoço ou pausas ou saídas para a eliminação de desperdícios e sucata da estação de trabalho.

O planeador deve ter a capacidade de prever, virtualmente, a entrada e saída do operador no seu turno, o operador a realizar as suas tarefas, a alterar o *setup* da estação de trabalho se necessário, manutenção da máquina, reação do operador a situações de emergência, pausas do operador para almoço, limpeza da estação de trabalho, avaliação de qualidade, trabalho em equipa e resposta do operador a *feedback* da *board*. Esta *skill* do planeador, pode garantir um espaço de trabalho adequado e um melhoramento nas operações da estação.

1.2.6. MANUSEAMENTO DE MATERIAL

Na maior parte dos casos de planeamento industrial, mais de 50% do projeto está relacionado com manuseamento de material, sendo que, o *design* do *layout* está sempre dependente do sistema de manuseamento de material, e vice-versa. Manuseamento de material é tudo o que esteja relacionado com o transporte de peças, componentes, pessoal, no caso de sistemas de trânsito.

Visto que, grande parte dos custos de um projeto industrial está relacionado com manuseamento de material, quando se pretende “poupar”, o sistema de manuseamento de material é que sofre as alterações e melhorias, também porque é uma área onde é se permite a evolução. A situação ideal é a ausência de tudo o que seja atividades de manuseamento de material, que na prática é impossível.

Como é evidente, é necessário a existência de tecnologias e estratégias de manuseamento de material numa empresa, um sistema bem projetado é a base de uma empresa bem-sucedida.

1.2.6.1. DEFINIÇÃO DE MANUSEAMENTO DE MATERIAL

Segundo o *Material handling institute of America*, manuseamento de material é “a arte e a ciência associada ao movimento, armazenamento controlo e proteção de bens e materiais durante o processo da sua manufatura, distribuição, consumo e despejo.”, o que implica que se trata de uma disciplina que é alvo de estudo em engenharia desde há muito tempo, na qual se aplicam princípios e métodos de engenharia. Um projeto de um sistema de manuseamento

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

de material envolve o estudo do problema em si, avaliar alternativas e maneiras de contrariar o problema e pôr as estratégias em prática, com manutenções e avaliações regulares.

1.2.6.2. PRINCÍPIOS DE MANUSEAMENTO DE MATERIAL

Modelos matemáticos e formulações teóricas nem sempre garantem a solução para um problema de manuseamento de material, por isso, o *College-Industry Council on Material Handling Education* (CIC-MHE) reconhece os 10 princípios de manuseamento de material, que foram determinados através de várias décadas de prática e experiência na área, por parte de engenheiros especialistas. Estes princípios guiam o projetista no *design* de um sistema de manuseamento de material, e são os seguintes:

-
1. PRINCÍPIO DO PLANEAMENTO: UM PLANO É O PASSO A TOMAR ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA. UM PLANO DE MANUSEAMENTO DE MATERIAL PRETENDE DEFINIR O MATERIAL, OS MOVIMENTOS E DESTINOS DESSE MATERIAL E, COM ISTO, DEFINIR O MÉTODO A APLICAR.
 2. PRINCÍPIO DA NORMALIZAÇÃO: PRETENDE-SE, COM ISTO, QUE O SISTEMA SEJA COMPOSTO PELO NÚMERO MAIOR DE COMPONENTES E EQUIPAMENTO NORMALIZADO POSSÍVEL, O QUE SIGNIFICA MENOS VARIEDADE E CUSTOMIZAÇÃO.
 3. PRINCÍPIO DO TRABALHO: O TRABALHO É DETERMINADO PELA MULTIPLICAÇÃO ENTRE O FLUXO DE MATERIAL E A DISTÂNCIA MOVIDA.
 4. PRINCÍPIO DA ERGONOMIA: ERGONOMIA É A DISCIPLINA DA ADAPTAÇÃO DO TRABALHO E DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO ÀS NECESSIDADES DO TRABALHADOR.
 5. PRINCÍPIO DA UNIDADE DE CARGA: UMA UNIDADE DE CARGA PODE SER ARMAZENADA E MOVIDA COMO UMA ENTIDADE ÚNICA, COMO PALETES, UM RECIPIENTE OU LOTE, INDEPENDENTEMENTE DOS ITENS QUE O COMPÕEM.
 6. PRINCÍPIO DA UTILIZAÇÃO DE ESPAÇO: DEVE-SE MEDIR O ESPAÇO TRIDIMENSIONALMENTE.
 7. PRINCÍPIO DO SISTEMA: UM SISTEMA É UM CONJUNTO DE ENTIDADES QUE INTERAGEM E/OU SÃO INTERDEPENDENTES ENTRE SI.
 8. PRINCÍPIO DA AUTOMAÇÃO: AUTOMAÇÃO REFERE-SE À APLICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETROMECAÑICOS E SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA CONTROLAR E OPERAR EM CERTAS ATIVIDADES. O QUE SUGERE A CRIAÇÃO DE UM SISTEMA CONTROLADO POR INSTRUÇÕES PROGRAMADAS.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

9. PRINCÍPIO AMBIENTAL: CONSCIENCIALIZAÇÃO AMBIENTAL PROVÉM DE UMA NECESSIDADE DE NÃO DESPERDIÇAR RECURSOS NATURAIS E ELIMINAR POSSÍVEIS EFEITOS QUE AFETAM NEGATIVAMENTE O AMBIENTE.
10. PRINCÍPIO DOS CUSTOS DO CICLO DE VIDA: O CICLO DE VIDA DE UM SISTEMA INCLUI TODO O DINHEIRO ENVOLVIDO, DESDE OS PRIMEIROS GASTOS NO PLANO OU EQUIPAMENTO, ATÉ ESSE EQUIPAMENTO SER COMPLETAMENTE SUBSTITUÍDO.

1.2.6.3. EQUIPAMENTO DE MANUSEAMENTO DE MATERIAL

Especificações de equipamento é um dos últimos passos a tomar num projeto de manuseamento de material. Ainda assim, é importante que um engenheiro tenha conhecimento de equipamentos a utilizar num sistema de manuseamento de material. Estes equipamentos estão em constante mudança e atualização, quem estiver envolvido nesta área, deve-se sempre manter informado dessas atualizações.

Equipamento de manuseamento de material pode ser dividido nas seguintes categorias: recipientes e equipamentos de unitização; equipamento de transporte de material, que consiste em transportadoras, veículos industriais, monorrails e gruas; equipamento de armazenamento e levantamento de produtos; equipamento de coleta de dados e de comunicação, dos quais identificação e reconhecimento automáticos, comunicação automática (Apple, 1972).

Uma lista detalhada e com a devida descrição do tipo de equipamento mais usuais está presente no Anexo A: Equipamento de manuseamento de material.

1.3. GRUPO ROQ

A ROQ é uma empresa industrial europeia, verticalmente integrada, que desenvolve a sua atividade desde a conceção, o fabrico e a comercialização de máquinas para estampania têxtil, impressão digital, secagem, dobragem e embalagem.

Com 40 anos de história a ROQ é uma empresa global, exporta 85% para 80 países em todos os continentes, tem um volume de vendas consolidado de 88 milhões € e emprega 720 colaboradores.

Tem instalações em Portugal, nos Estados Unidos e no Brasil e detém uma rede de agentes que garantem a distribuição e um serviço pós-venda em todos os mercados onde opera.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

De ADN irreverente e inovador, a ROQ é uma empresa tecnologicamente evoluída, com uma capacidade diferenciadora ao nível da engenharia, o que lhe garante o know-how e a vanguarda no desenvolvimento de equipamentos de excelente Precisão na impressão, Fiabilidade, Facilidade de utilização e com um Serviço de suporte pós-venda eficaz e de proximidade.

Atuando no mercado da Moda e no mercado Promocional, a ROQ tem uma gama alargada de Máquinas e Equipamentos para a impressão têxtil: Serigrafia, Impressão Digital, Web2print, Impressão híbrida, Dobragem e Embalagem e Secagem.

1.4. OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

No decorrer deste trabalho espera-se que haja um desenvolvimento de competências quanto aos princípios gerais de modelação de sistemas, que inicialmente irão passar por estudo do estado de arte e baseado em fundamentos teóricos e aspetos técnicos de engenharia, seguidamente, no projeto, haverá uma comprovação analítica dos componentes incorporados no sistema, de modo a perceber a resistência do mesmo. Ainda se fará um estudo numérico do sistema, recorrendo ao *add-in simulation* do *software* disponibilizado pela empresa, *Solidworks*.

Pretende-se perceber e aplicar conceitos práticos, adquiridos em contexto académico, relativos a modelação em *Solidworks*, de modo a idealizar um sistema limitado por condições inerentes à empresa, mas com capacidade modular que se adapte às necessidades do operador.

Perspetiva-se que, o modelo construído em *software* seja intuitivo, em que o estudo numérico e simulações sejam de fácil análise e simplificadas.

Por fim, espera-se que o modelo tenha aplicabilidade em conceito industrial, seja ergonómico, de fácil utilização e cuja melhoria e aperfeiçoamento futuros não sejam de difícil execução.

1.5. OUTLINE DE DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos:

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

- **CAPÍTULO 1:** TRATA DA APRESENTAÇÃO DA MOTIVAÇÃO DO PROJETO PARA A TESE, ASSIM COMO DO ESTADO DE ARTE DO TEMA EM ESTUDO E TAMBÉM DA DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS.
- **CAPÍTULO 2:** APRESENTA UMA VISÃO TEÓRICA DOS ASPETOS TRABALHADOS NESTE DOCUMENTO E REFERE ALGUMAS EQUAÇÕES REQUERIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.
- **CAPÍTULO 3:** NESTE CAPÍTULO ESTÁ PRESENTE O ESTUDO PRELIMINAR DO PROJETO, DANDO ALGUM CONTEXTO DE COMO O TRABALHO É REALIZADO NA EMPRESA, APRESENTADO, AINDA, A DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS A APLICAR NO PROJETO.
- **CAPÍTULO 4:** IRÁ DETALHAR O DESENVOLVIMENTO E DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DO PROJETO, TRATANDO DOS ESTUDOS NUMÉRICOS NA ESTRUTURA, SELEÇÃO E MODELAÇÃO DE COMPONENTES.
- **CAPÍTULO 5:** CONCLUSÃO E COMENTÁRIO SOBRE OS RESULTADOS, SE OS OBJETIVOS FORAM COMPRIDOS, ABORDANDO AINDA O QUE PODE SER REALIZADO FUTURAMENTE INDICANDO ALGUMAS SUGESTÕES.

2. TEORIA

2.1. CINÉTICA DE UM VEÍCULO

Antes de iniciar o desenvolvimento e modelação do veículo, é necessário entender a relação entre os movimentos que este fará e as forças a que estará sujeito, só assim se poderá determinar os esforços e a potência do mesmo, aspetos que irão incidir diretamente na projeção dos componentes do veículo.

Este tipo de veículo é, normalmente, afetado pela força de resistência de rolamento (F_{rr}), a componente do peso (W), que numa inclinação será dividido nos componentes W_x e W_y , que serão desconsiderados, visto que neste projeto, não haverá inclinações no percurso do RGV, a resistência do ar (F_{ar}), também será desconsiderada, dada a reduzida velocidade do RGV (máximo de 0,3 m.s). A força de tração (F_T) será a responsável pela propulsão de veículo, que irá depender de todas as solicitações no veículo. Na imagem abaixo.

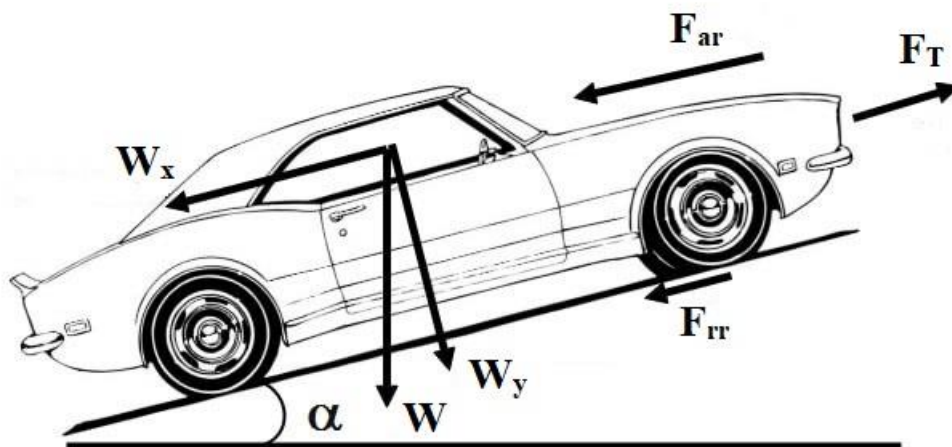


Figura 7 Solicitações num veículo em movimento (tração a frente)

2.1.1. RESISTÊNCIA DE ROLAMENTO

A resistência ao rolamento é uma força que se opõe ao movimento de um objeto à medida que ele rola sobre uma superfície. Ocorre, necessariamente quando dois objetos em contato, como um pneu e a estrada, se deformam ligeiramente sob a pressão do peso (por

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

muito pequena que seja) do objeto, e essa deformação cria resistência ao movimento. A resistência ao rolamento é uma forma de perda de energia mecânica e é um dos fatores que podem desacelerar ou dificultar o movimento de veículos e outros objetos rolantes (Andersen & Larsen, 2014).

A resistência ao rolamento resulta principalmente da deformação e subsequente recuperação dos materiais em contato. Quando um pneu rola sobre uma superfície, a forma do pneu muda temporariamente, e energia é gasta para deformar e depois restaurar a forma do pneu. É diretamente afetada pelo design do objeto rolante e pela superfície (Andersen & Larsen, 2014).

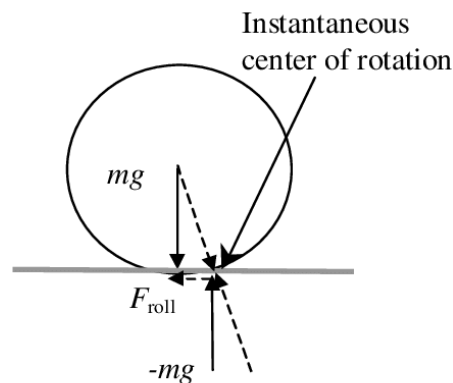


Figura 8 Representação da resistência de rolamento

A força de resistência ao rolamento pode ser calculada da seguinte forma:

$$F_{rr} = mg\mu_{rr} \quad (2.1)$$

Em que m , é a massa do objeto, g é a aceleração gravítica e μ_{rr} é o coeficiente de resistência do rolamento. Este valor de μ_{rr} , pode estar tabelado ou pode ser calculado pela seguinte equação derivada por I. Evans (2002):

$$\mu_{rr} = \frac{h}{4.4} \left(\frac{Pt}{Esr^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.2)$$

Considerando h a fração de energia dissipada, P a força vertical total na roda, E o módulo de elasticidade do material da roda, t a espessura da roda, s a largura da roda e r o raio da roda.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

2.1.2.FORÇA DE TRAÇÃO

A força de tração, frequentemente referida simplesmente como "tração", é a força que permite a um veículo ou objeto mover-se ao longo de uma superfície, superando a resistência ao movimento, como a fricção ou outras forças de atrito. A força de tração é um conceito fundamental no campo dos transportes, particularmente no contexto de veículos como carros, camiões e comboios.

A força de tração pode ser dividida em vários componentes necessários ao cálculo da mesma, a resistência ao rolamento, devido à deformação dos pneus e ao contacto entre o pneu e a estrada, a resistência aerodinâmica, causada pela resistência do ar à medida que o veículo se desloca pelo mesmo, a força gravitacional para superar a gravidade ao subir uma colina e a inércia que representa a força necessária para acelerar ou desacelerar o veículo. Como mencionado antes, só se irá considerar a resistência ao rolamento e a inércia neste projeto, pelo que, a força de tração pode ser calculada da seguinte forma:

$$F_T = mg\mu_{rr} + ma \quad (2.3)$$

Em que a representa a aceleração do veículo.

2.1.3.POTÊNCIA E TORQUE ATRAVÉS DA FORÇA DE TRAÇÃO

Para idealizar a motorização do veículo, há que saber a potência necessária para este realizar as manobras pretendidas. Assim como, se deve calcular o torque que o motor deve transmitir à roda de modo a iniciar o movimento do carro.

Posto isto, e sabendo a força de tração, pode-se determinar a potência (P) pelo produto de F_T pela velocidade do veículo, de modo a incluir a aceleração e desaceleração, a velocidade será calculada pelo tempo decorrido desde o arranque, atingindo a velocidade máxima, até à paragem do veículo. A equação de potência terá o seguinte aspeto:

$$P = F_T \frac{d}{t} \quad (2.4)$$

Em que d representa a distância percorrida em metros e t o tempo em segundos.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

O cálculo do torque a ser aplicado na roda é bastante simples de calcular, tendo a fórmula o seguinte formato:

$$T = F_T \cdot r \quad (2.5)$$

3. ESTRUTURA DO PROJETO

Neste capítulo irá ser disposto o conteúdo base do projeto, onde se irá refletir sobre o motivo que levou à aceitação e elaboração deste trabalho, assim como um estudo das estratégias já utilizadas pela empresa, o que levará a uma justificação da sua aplicação e apresentação de protótipos para o seu aperfeiçoamento.

3.1. FILOSOFIA KAIZEN

A filosofia *Kaizen* (kai” zen), que significa “mudança para o bem” ou “melhoria constante” é o estilo de trabalho e organização adotado pela ROQ, refere-se a um método japonês de gestão baseado em fazer pequenas mudanças incrementais em processos, produtos ou serviços e ambiente de trabalho. *Kaizen* vem do Japão e está ligado à produção japonesa e à cultura corporativa, especificamente dentro de empresas como a Toyota.

Kaizen acredita que mesmo os processos ou sistemas mais otimizados sempre podem ser melhorados, e essa “pequena mudança” ou mentalidade iterativa está em sua essência. Promove uma cultura de melhorias incrementais, de baixo risco e gerenciáveis. Concentra-se em incluir todos os membros da equipa no processo de melhoria. Pessoas de todos os níveis são convidadas a identificar problemas, oferecer sugestões e participar do processo de mudança.

De acordo com a filosofia *kaizen*, tanto os gerentes quanto os funcionários devem ser enviados ao local real do procedimento de trabalho denominado *Gemba* para ver os procedimentos por si próprios. O que irá facilitar a identificação de áreas que necessitem de melhorias.

Pretende-se, também, eliminar diferentes fontes de desperdício, uma das quais a superprodução (ou seja, a produção de produtos em excesso), tempo de espera desnecessários, excesso de *stock*, não aproveitamento de habilidades dos funcionários e transportes desnecessários. Esses desperdícios são reduzidos ou eliminados permitindo maior eficiência e economia de custos.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

O PDCA, ou *Plan-Do-Check-Act*, é uma ferramenta básica do *Kaizen*. Para a gestão da mudança, significa planejar a mudança (criar uma agenda), fazer com que as mudanças aconteçam (executar), rever e monitorizar o progresso (*feedback*) e tomar medidas para melhorar a mudança com base no feedback e nos dados. Na ROQ, esta ferramenta é traduzida em reuniões diárias e semanais.

Kaizen é um compromisso de longo prazo, uma jornada em direção à melhoria constante. É necessária a adesão de toda a organização: liderança e funcionários.

3.2. ESPAÇO E ESTRATÉGIA ATUAL

A linha de montagem, por muito que seja alterada, estará estabelecida no polo de Montagem A, este polo acarreta várias funções na empresa, como armazenamento e montagem de variados equipamentos. O foco deste trabalho será a montagem das máquinas circulares (Figura 9), nomeadamente a máquina ECO, visto que é a mais vendida e, conseqüentemente, a que mais tempo passa na linha de montagem, trata-se da gama mais alta de estamperia circular na ROQ. Este equipamento possui capacidade de trabalhar com 20 paletes ao mesmo tempo, com dimensões que variam de L a 3XL, munido com um sistema auto lubrificante, o levantamento das cabeças é individual, o que integra uma elevada versatilidade no conjunto, permitindo que cada cabeça imprima o estampado a tempos premeditados e que se faça um levantamento automático para limpeza das mesmas.

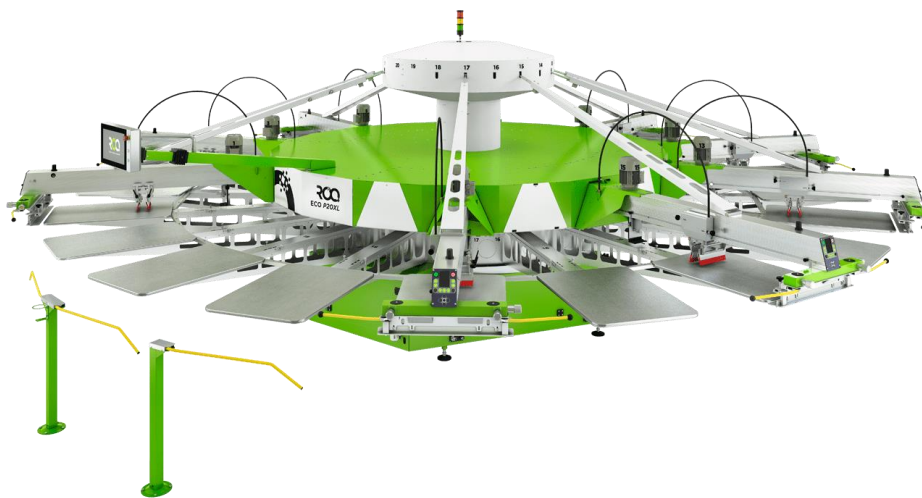


Figura 9 Máquina ROQ ECO

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

A máquina é constituída por uma base, designada por pé, que engloba todo o sistema elétrico e de motorização e tem capacidade de suportar o peso de todo o equipamento, é também o componente de maior dimensão da máquina. A estrela é o componente intermediário, que confere o movimento de rotação às paletes, garantindo que estas passem por cada cabeça. No centro de comando é onde se encontra o painel de controlo, onde se pode definir o tipo e fluxo de trabalho da máquina, é também no centro de comando que se monta o sistema pneumático e do sistema de levantamento das cabeças.

Todos os dias estes componentes são transportados para a estação de pré-montagem, primeiramente, prepara-se a estrutura do pé, montando-se o conjunto nivelador da máquina, limpa-se os furos na zona de motorização e na zona exterior da máquina, prepara-se ainda o sistema de vácuo, verificando-se a condição dos vedantes. De seguida, prepara-se a estrela, limpando-se os rasgos da cunha do travão e os furos. Na preparação do centro de comando, remove-se os isolamentos de pintura, procede-se à limpeza dos furos roscados e montagem dos parafusos de ajuste. Monta-se todas as estruturas no veio central da máquina, juntamente com os rolamentos, verificando-se o correto posicionamento dos componentes e afinando-se o binário de rotação, pode-se perceber a conformidade do conjunto. A última operação na estação de pré-montagem é a montagem da motorização no pé da máquina, o motor trata-se de um motor elétrico e o sistema de movimentação é o mecanismo de Genebra, que, instalado no pé, irá interagir com as cunhas na estrela, o que lhe confere o movimento de rotação.

Seguidamente, a máquina é transportada para o próximo posto, dada a dimensão do pé da máquina (diâmetro de cerca de 2242mm), esta é, de momento, transportada com o auxílio de duas empilhadoras. Nesta estação, faz-se a preparação da posição das cabeças e a instalação do circuito pneumático cuja alimentação se posiciona no pé da máquina e se monta uma electroválvula direcional no sistema de elevação localizado no centro de comando, que forçará o acionamento das cabeças. Posteriormente, realiza-se a instalação da cablagem por todo o equipamento, assim como a sua eletrificação, assim como se introduz sensores nos locais previamente indicados, é nesta etapa que se monta o pedal de emergência, a seguir à eletrificação da máquina. Procede-se à instalação do sistema de pré-secagem da tinta que é incorporado na máquina, e à colocação das cunhas para o travão na estrela.

A máquina é movida para a estação seguinte pelo mesmo método aplicado no transporte anteriormente referido, onde procede à montagem e nivelamento dos porta-paletes, afinação dos detetores da estrela, preparação da motorização para o acerto das

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

cunhas, acerto do passo entre porta-paletes e o acerto da posição das cunhas do travão da estrela.

Transporta-se a máquina, por fim, para a estação final, onde se faz a preparação e instalação do centro de elevação individual da máquina e a montagem do corpo das cabeças.

Após uma análise ao processo de montagem da máquina, verifica-se que, nesta configuração, esta requer uma elevada quantidade de trabalho de transporte e de manuseamento de material, o que, aumenta, significativamente o número de trabalhadores para o processo de montagem deste equipamento, o tempo e fundos gastos no transporte da máquina são despesas que deveriam de ser reduzidas ao máximo e que o cliente não tem interesse em pagar.

Ao se recorrer a planeamento industrial pretende-se que a estratégia de montagem esteja o mais otimizada possível, e, em teoria, eliminar o transporte e manuseamento de material na sua totalidade, na realidade é improvável a possibilidade, mas este projeto visa a uma redução instantânea do tempo de transporte e de pessoal necessário na montagem. Isto resultará em tempo extra que os funcionários possam utilizar para realizar outras tarefas e aumentar a produtividade.

3.3. CONSTRANGIMENTOS E LIMITAÇÕES

Desde início, definiram-se alguns constrangimentos e requisitos a seguir, nomeadamente, pretende-se que o sistema aplicado seja eficiente, quando comparado ao já utilizado, e que o mesmo seja modular, ou seja, que tenha capacidade de se adaptar ao espaço disponibilizado e às necessidades tanto da empresa como do operador. É, também, importante que o sistema utilizado seja versátil e que possa ser adaptado a várias gamas de máquinas circulares.

Focando na especificidade do projeto, sabe-se que na montagem, todo o trabalho no pé da máquina é realizado com a mesma a cerca de 500 mm do solo, de modo a facilitar o acesso à base aquando da montagem da motorização e, também, visando garantir o conforto do trabalhador com um sistema ergonómico, visto que, com estas condições, o mesmo pode levar a cabo as operações de montagem sentado. Logo, terá de ser projetado um sistema que possibilite este trabalho na máquina com uma ligeira elevação. Na estação de pré-montagem deve haver maneira de carregar os componentes principais, para montagem dos mesmos.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Dado que a ROQ produz o material e componentes para a serigrafia, o sistema terá de ser produzido, na sua maioria, na própria empresa.

Embora não haja um orçamento pré-determinado, espera-se que o investimento no projeto seja justificativo a longo prazo, que o tempo poupado supere esses gastos.

3.4. ESTUDO PRELIMINAR

Nesta secção irá ser discutida a aproximação ao projeto e primeiras iterações do sistema a aplicar, começando-se por estudar a linha e os processos de montagem, sabendo-se que estes não podem ser muito diferentes, tentando otimizar a linha de montagem. De seguida, fez-se um estudo de equipamentos e técnicas de manuseamento de material, querendo-se mitigar as operações de transporte da máquina e trabalhadores envolvidos nas mesmas, o novo sistema de transporte só poderia ser definido depois de determinada a ordem das operações de montagem e da geometria da linha de montagem. Adicionalmente, realizou-se um estudo da melhor estratégia de elevação da máquina quando são realizados trabalhos no pé da máquina.

3.4.1. ESTUDO DA LINHA DE MONTAGEM

Uma das restrições do projeto impede que haja qualquer modificação nos processos de montagem das máquinas, pelo que, se pretende que o número de estações seja o mesmo, ou seja, três estações de montagem e uma de pré-montagem, que também funcionará como zona de carregamento e descarregamento de carga. Posto isto, e dados os constrangimentos dimensionais, pretende-se que a linha de montagem seja um *loop* e o transporte do tipo assíncrono, tendo o seguinte aspeto, representado na Figura 10.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

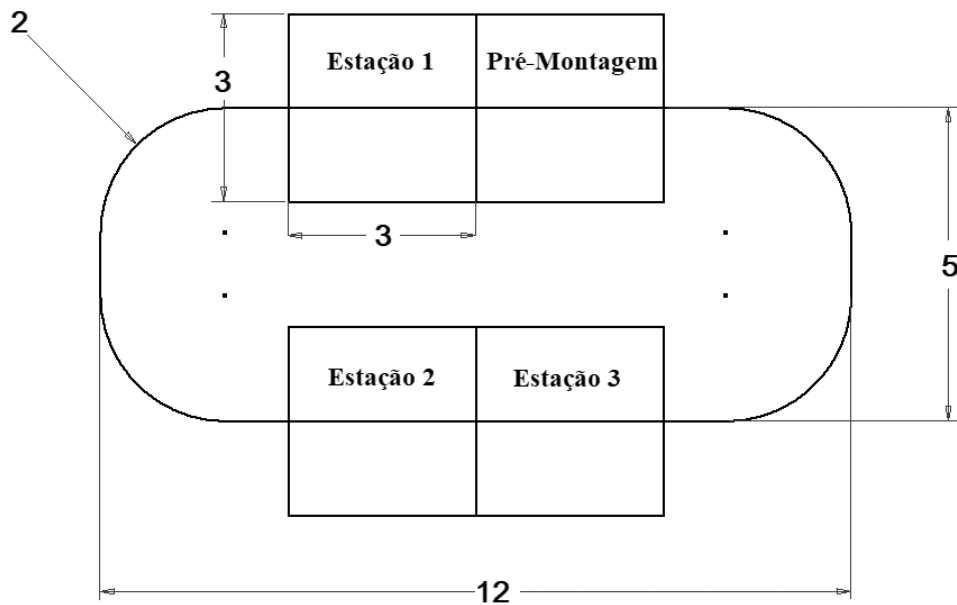


Figura 10 Modelo esquemático da linha de montagem

Cada estação de trabalho será um quadrado com 3 metros de lado e a linha de montagem terá um atravancamento de 12 metros por 8 metros, a linha que atravessa as estações de montagem representa o percurso da máquina aquando do seu transporte pelas mesmas, verificando-se que no percurso há, ainda, curvas com um raio de curvatura de 2 metros. Com esta configuração, o veículo percorrerá uma distância de 43,13 m por ciclo.

3.4.2. ESTUDO DO SISTEMA DE MANUSEAMENTO DE MATERIAL

Dada a inconstância no tempo de realização das operações em cada estação, o transporte de material mais apropriado será do tipo assíncrono, ou seja, cada parte é movida a seu tempo, ao fim de uma operação, para a estação seguinte. É um sistema apropriado para fluxos de trabalho onde existe pelo menos uma estação de montagem manual, sendo que, neste projeto, todas as estações de trabalho são manuais.

Posto isto, cada máquina terá de ser transportada por um único equipamento. AGV's e RGV's são os tipos de equipamento mais utilizados e apropriados, o foco deste trabalho foi nesta tecnologia. Quando se refere a AGV (*automated guided vehicles*), fala-se de veículos automatizados, ou seja, não necessitam de ser acionados manualmente, possuem a capacidade de se guiarem por um caminho pré-determinado, saber onde e quando parar, reconhecer obstáculos e evitá-los, são equipamentos bastante versáteis, com elevada adaptabilidade, embora estejam associados a um elevado investimento inicial. Os RGV's (*rail*

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

guided vehicles) são uma excelente alternativa a AGV's, tendo em conta que é necessário um investimento mais reduzido.



Figura 11 Exemplificação AGV

RGV's, como o nome indica, são guiados por carril, em oposição aos AGV's, por um componente físico, não necessitam de guiamento eletrónico motorizado, nem de um percurso programado, o que permite uma redução de custos, comparativamente a transportes automatizados. Deste modo, escolheu-se esta tecnologia para integrar na linha de montagem das máquinas circulares.

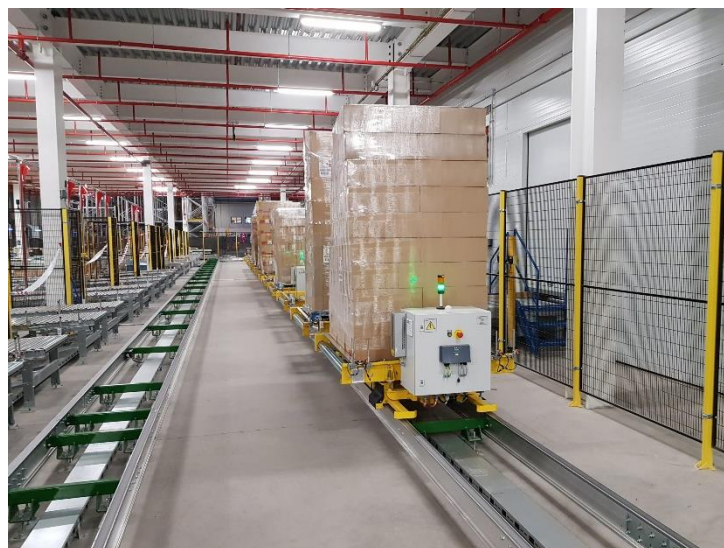


Figura 12 Exemplificação RGV

Posto isto, fez-se um estudo das normas e questões legais que contam com a montagem e integração deste tipo de veículos industriais. Analisando-se a diretiva 2006/42/EC do parlamento europeu sobre maquinaria, reparou-se que há alguns pontos que devem ser respeitados:

- O EQUIPAMENTO DE COMANDO DEVE ESTAR EQUIPADO COM TECNOLOGIA QUE IMPEÇA QUE O VEÍCULO REALIZE MOVIMENTOS SEM INTENÇÃO, COM EXCEÇÃO AO COMANDO DE EMERGÊNCIA;

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

- O OPERADOR DEVERÁ SER CAPAZ DE OPERAR O VEÍCULO REMOTAMENTE A UMA DISTÂNCIA SEGURA E FORA DA ZONA DE AÇÃO;
- NÃO DEVE HAVER INTERFERÊNCIA COM OUTROS VEÍCULOS CONTROLADOS REMOTAMENTE;
- O VEÍCULO DEVE PARA A AÇÃO QUE ESTEJA A REALIZAR CASO O CONTROLO REMOTO SAIA DO ALCANCE DE ACIONAMENTO DO VEÍCULO;
- QUALQUER ZONA METÁLICA QUE POSSA ULTRAPASSAR OS 65 °C E ZONAS PINTADAS OU DE PLÁSTICO QUE ULTRAPASSEM OS 83 °C, DEVEM ESTAR BLINDADAS CASO ESTEJAM AO ALCANCE DO OPERADOR;
- CASO O VEÍCULO SEJA ALIMENTADO POR BATERIA COM UMA TENSÃO SUPERIOR A 120V, ESTA DEVE SER BLINDADA;
- A BLINDAGEM DA BATERIA, CASO SEJA METÁLICA, DEVE ESTAR DISTANCIADA, NO MÍNIMO, 30MM DOS TERMINAIS, OU 10MM CASO ESTES ESTEJAM DEVIDAMENTE ISOLADOS;
- PARA UMA BLINDAGEM NÃO METÁLICA, ESTA DEVE ESTAR PROTEGIDA COM UMA CLASSE DE QUEIMA V0 OU V1, E DEVE SER RESISTENTE AO IMPACTO;
 - A BATERIA DEVE SER RESISTENTE A ELETRÓLITOS E ESTAR DEVIDAMENTE VENTILADA;
- CASO HAJA UMA ELEVAÇÃO DO VEÍCULO, A ZONA DE ELEVAÇÃO DEVE ESTAR APROPRIADAMENTE SINALIZADA;
- O VEÍCULO DEVE SER TESTADO ESTRUTURALMENTE E NÃO PODE SOFRER DEFORMAÇÕES VISÍVEIS OU DANO;
- DEVE POSSUIR A SINALÉTICA NECESSÁRIA DE MODO A GARANTIR A SEGURANÇA DO OPERADOR;
 - O VEÍCULO DEVE POSSUIR UM SISTEMA QUE IMPEÇA O DESCARRILAMENTO DO MESMO;
 - É NECESSÁRIO INCLUIR SENSORES QUE IMPEÇAM A COLISÃO COM OUTROS VEÍCULOS OU OBSTÁCULOS;
- O VEÍCULO SÓ PODE SER ACIONADO COM O SISTEMA *HOLD-TO-RUN*, EM QUE O VEÍCULO SÓ SE MOVIMENTA ENQUANTO O ACIONADOR ESTIVER PRESSIONADO.

O desenvolvimento do RGV foi ainda guiado pelas normas europeias ISO 3691-4: Veículos Industriais – Requisitos de segurança e verificação – parte 4: veículos industriais sem condutor e seus sistemas, realçando os aspetos mais importantes e que melhor definem o projeto estudado:

-
- O VEÍCULO NÃO DEVE POSSUIR ÂNGULOS OU VÉRTICES QUE POSSAM AGRAVAR ACIDENTES;

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

- COMPONENTES QUE POSSAM ARMAZENAR ENERGIA E QUE POSSAM CAUSAR RISCOS NA SUA DESMONTAGEM, DEVEM POSSUIR MEIOS CAPAZES DE DESCARREGAR O EQUIPAMENTO ANTES DA SUA DESMONTAGEM;
- O VEÍCULO NÃO DEVERÁ TER UM ARRANQUE DESCONTROLADO OU MOVIMENTOS NÃO PREMEDITADOS, PARA ISTO, O CONTROLO REMOTO DEVE SER LIGADO POR CHAVE, CÓDIGO DE SEGURANÇA OU POR CARTÃO DE BANDA MAGNÉTICA;
- O VEÍCULO NÃO DEVE ULTRAPASSAR UMA VELOCIDADE MÁXIMA DE 0,3 M/S.

Numa primeira aproximação pensou-se em utilizar quatro patins de rolo que assentariam e se moviam ao longo de duas guias, esta tecnologia foi rapidamente excluída dada a baixa capacidade de carga dos patins de rolos, a dificuldade de movimento em trajeto curvo e à dificuldade em estabilizar a motorização do carro num percurso curvo.

Sendo assim, de modo a garantir a capacidade de carga solicitada, pensou-se em alterar os patins de rolos por rodas com flange em rodízio articulado, o que garantiria um movimento suave nas curvas. Cada roda seria motorizada, o que eliminaria o problema de estabilização da motorização, mas levaria a gastos mais elevados, dada a necessidade de implementar um motor elétrico em cada roda. Nesta situação, aquando do prescrever da curva, as flanges das rodas iriam estar sujeitas a um desgaste bastante elevado, provocado pela fricção do metal da roda com o metal do perfil de guiamento, o que obrigaria a uma troca de componentes regular. Este conjunto de fatores levou à exclusão da proposta.

Numa das propostas mais promissoras, em que se excluiria as duas guias e se optaria por um monorail, o carro seria guiado por um patim que apenas teria de suportar os esforços horizontais nos trajetos curvos, sendo que os esforços transversos seriam suportados por quatro rodas em rodízio articulado que assentariam no solo. Inicialmente, pretendia-se que o carro também tivesse a capacidade de elevar a máquina, ou seja, que o sistema de elevação fosse aplicado no veículo, isto obrigaria a um aumento significativo da dimensão do RGV, o que consistiria num constrangimento dimensional, por isso, optou-se por um sistema de elevação exterior ao carro, cujo dimensionamento será discutido em capítulos posteriores.

Quanto à motorização, numa primeira análise, pretendia-se que esta seria levada a cabo por um sistema de engrenagem-cremalheira, deste modo, apenas havia necessidade de um motor que potenciaria o sistema. A cremalheira estaria paralela à guia, garantindo a estabilidade na motorização. O problema de um sistema destes é o elevado custo para a sua implementação, o que invalida a sua aplicação.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Posto isto, teve de se idealizar um sistema de motorização mais acessível, para isso, decidiu-se que o veículo não seria guiado no seu centro pelo perfil, mas sim, lateralmente, desse modo, duas rodas apoiariam no perfil, com rolos laterais iriam guiar o RGV e apenas uma roda que irá proporcionar o potenciamento do movimento, a roda da frente será a única motora, as duas rodas opostas podem assentar noutra carril ou diretamente no solo. Isto trata-se de um projeto significativamente menos dispendioso que o mencionado anteriormente.

Relativamente à alimentação do sistema, este pode ser por um barramento multipolar deslizante, que se move solidariamente com o veículo, estes sistemas servem como alimentação, podem traduzir sinais e também possibilitam a localização do carro na linha. Podem ser utilizados em vários tipos de equipamento de manuseamento de material, a montagem deste equipamento é bastante simples, garantem uma manutenção facilitada e dificilmente ocorrem acidentes de funcionamento. Um dos problemas destes sistemas é a obrigação normativa de terem de estar isolados, visto que se trata de um conjunto de fios de cobre, cujo contacto com os mesmos pode ser fatal. Já existem tecnologias que tentam contornar este problema, como calhas elétricas blindadas, é uma montagem aérea e está protegido do contacto (IP23), porém não está completamente blindado, uma das faces está aberta para o deslizamento dos rolos, outro problema desta aplicação é a suspensão de cabos, que afetam e podem incomodar o trabalhador aquando da montagem.

Face este problema, pensou-se que seria mais apropriado a utilização de uma bateria de ião-lítio, o que permitiria a redução de cablagem, o que constituiria um sistema mais compacto e também devido à sua duração elevada, assim, dado o tempo de paragem a que o veículo estará sujeito, o sistema de carregamento estaria montado numa estação de trabalho e, sempre que o veículo estiver estacionado na estação, está em carregamento. Perante a execução de uma bateria, perde-se a capacidade de recolha de dados, nomeadamente da posição do veículo, para tal, teria de ser introduzido um sistema de localização próprio no RGV, porém, para a aplicação deste projeto, a localização virtual do carro não é necessária, visto que o acionamento do motor do veículo seria manualmente comandado.

Numa fase inicial, esperava-se que a motorização fosse realizada por um motor elétrico trifásico, pois são motores acessíveis, com uma capacidade de arranque bastante elevada e capazes de transmitir bastante potência com uma dimensão reduzida e consumindo menos energia, quando comparados com os motores monofásicos. Porém, e para caso em questão,

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

cujo sistema será alimentado por bateria, será necessária a instalação de um transformador no sistema, visto que um motor trifásico é alimentado por corrente alternada. Posto isto, e dada a reduzida carga a ser transportada e velocidade de deslocamento, quando num ambiente industrial, será mais apropriado a utilização de um motor monofásico no sistema, visto que a montagem e alimentação do mesmo é bastante facilitada, quando comparado com um motor trifásico.

3.4.3. ESTUDO DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO

Inicialmente, pretendia-se introduzir um elevador hidráulico como sistema de elevação, pelo que se modelou um protótipo do mesmo (Figura 13), dado o elevado investimento na produção de um elevador hidráulico e às dificuldades de cumprir regulamentos de segurança, optou-se por um sistema mais simples, em que se iriam fixar calços de um material polimérico (Figura 14) nas chapas de fixação superior do veículo.

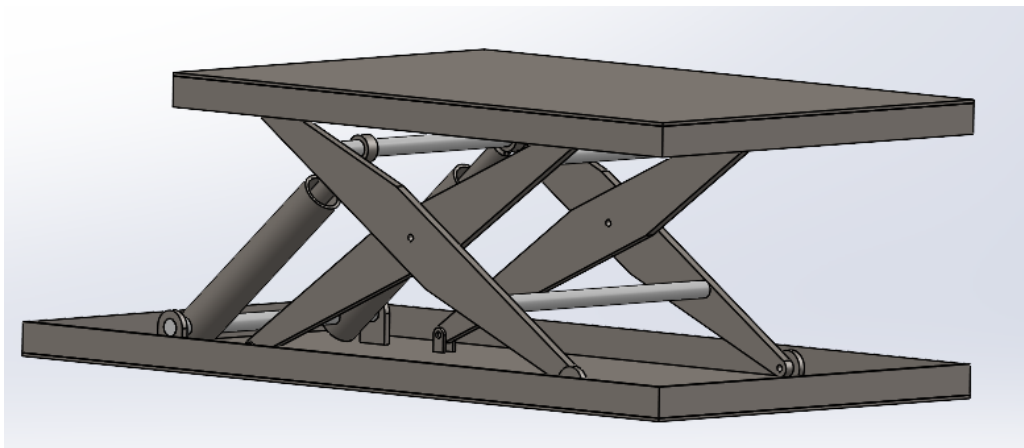


Figura 13 Protótipo elevador hidráulico

Esta solução irá permitir que o sistema se torne mais flexível, podendo-se seleccionar a altura do calço a utilizar, ou até mesmo, adaptar o veículo ao transporte de outros componentes, caso necessário, como, por exemplo, o transporte de paletes no armazém, bastando alterar os calços por um sistema de fixação adequado a este transporte.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

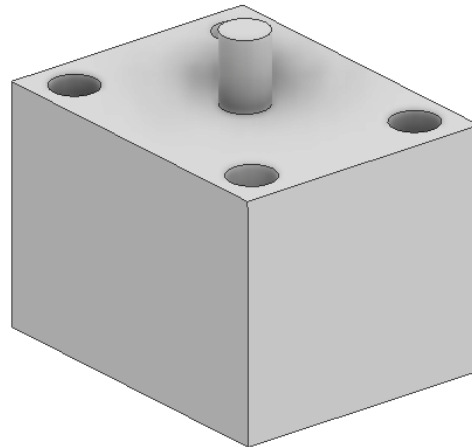


Figura 14 Calço de elevação

No calço, verifica-se a existência de um pino, que tem a finalidade de facilitar o posicionamento e fixação da máquina.

Na Figura 15 pode-se observar uma representação dos calços montados no chassi do veículo.

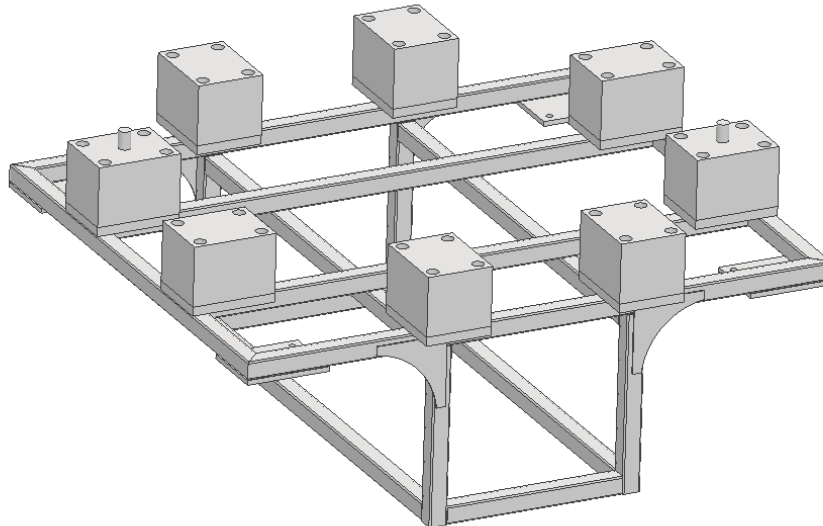


Figura 15 Chassi com os calços de elevação montados

4. DIMENSIONAMENTO SISTEMA

É neste capítulo que se fará a explicação de todo o processo de dimensionamento de todo o sistema da linha de montagem, cada protótipo projetado terá de ser verificado quanto à sua resistência mecânica, por estudos numéricos.

4.1. ANÁLISE DO CHASSI

Primeiramente, o estudo recaiu no dimensionamento do chassi do veículo, que deve ter resistência mecânica suficiente para suportar o peso da máquina (1317 kg), de maneira a garantir o correto dimensionamento e segurança do sistema, definiu-se como carga aplicada no chassi, 1500kg e que o veículo atingiria uma velocidade máxima de 0,2 m/s. O veículo seria produzido em tubos quadrados, para cada caso foi realizado um estudo numérico, de modo a perceber a resistência mecânica do sistema.

Para isso, a estrutura foi submetida a um estudo numérico, utilizando o método computacional do qual o *software Solidworks* dispõem, análise de elementos finitos, que é uma técnica numérica de dimensão finita pela qual podemos modelar algo complexo como uma máquina, ou estrutura, usando uma combinação de elementos finitos para estudar fenômenos físicos como mecânica-estrutural, estudos térmicos, dinâmica de fluidos, eletromagnetismo etc. Os métodos de Análise de Elementos Finitos (FEA) dividem um sistema complexo ou objeto em vários subcomponentes de tamanho finito, podendo-se proceder a uma análise aproximada do comportamento do sistema, através de simulações numéricas (Zienkiewicz et al., 2005).

Na FEA, a geometria ou a estrutura é discretizada criando malhas constituídas por elementos finitos (geralmente do tipo triangular, quadriláteros, tetraédricos ou hexaédricos) cada tipo de elemento tem propriedades e comportamentos específicos definidos por expressões matemáticas. A FEA utiliza fórmulas matemáticas e algoritmos que modelam o comportamento de materiais, estruturas ou sistemas no mundo real. Essas expressões dependem de alguns princípios mecânicos, transferências de calor, dinâmica de fluidos ou eletromagnetismo dependendo da aplicação.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Para modelar situações pretendidas, a FEA envolve a definição de condições de fronteira (cargas, restrições e condições iniciais), que podem ser estáticas ou variáveis no tempo, transitórias (dinâmicas) ou em estado estacionário. São essas características que determinam como o sistema lida com o mundo exterior.

Por fim, são utilizados métodos computacionais avançados, por exemplo, métodos de elementos finitos, para resolver o conjunto de equações geradas diretamente do modelo matemático. Cálculos iterativos permitem que os computadores determinem uma aproximação da solução.

Num projeto de engenharia a FEA é um método vital, pois permite que os engenheiros envolvidos no projeto avaliem o desempenho e a confiabilidade de peças ou sistemas desde o início, sem a necessidade de fabricar protótipos de *hardware* funcionais reais. Permite, ainda que os engenheiros otimizem o projeto avaliando vários tipos de configuração, materiais e/ou parâmetros para que possam obter o que desejam com seu projeto.

Contudo, testes físicos, bem como observações do mundo real, devem ser realizados para validar os resultados das simulações FEA para uma previsão precisa e confiável do comportamento.

Existem muitos *softwares* FEA comerciais que suportam pré-processamento, resolução e pós-processamento. Os mais utilizados são *ANSYS*, *Abaqus*, *COMSOL Multiphysics*.

Resumindo, a Análise de Elementos Finitos (FEA) é uma técnica computacional extremamente potente que permite aos engenheiros e cientistas decifrar sistemas complexos, obter informações perspicazes sobre o seu comportamento e desempenho e facilitar a inovação em diversas disciplinas da engenharia e da ciência.

4.1.1. ESTUDO NUMÉRICO CHASSI RGV V1

Numa primeira instância, idealizou-se o protótipo V1, apresentado na Figura 16, que é constituído por tubos de secção quadrada (60x60x3mm) soldados, apresenta uma armação inferior constituída por barras 30x30x2mm, que foram introduzidas com a finalidade de adicionar resistência ao conjunto.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

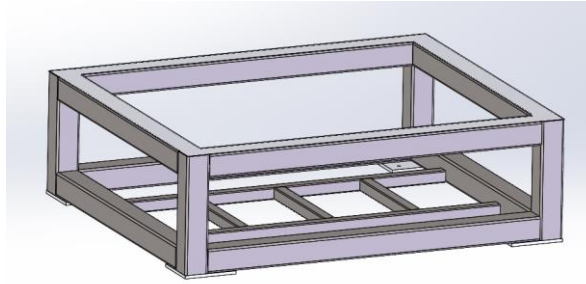


Figura 16 Chassi protótipo V1

Procedeu-se ao estudo numérico, com o intuito de perceber a fiabilidade mecânica da estrutura, o estudo realizado foi do tipo linear estático, pois pretende-se que o chassi tenha uma flecha muito reduzida e que a tensão sentida na estrutura seja bastante menor que a tensão de cedência do material que constitui os componentes.

O material utilizado será o aço S235JR 1.0037 (st37), fornecido pela ROQ, é um tipo de aço estrutural de baixo carbono. É um dos aços mais utilizados em diversas aplicações industriais devido às suas boas propriedades mecânicas, soldabilidade e preço acessível.

A excelente soldabilidade, torna-o numa escolha apropriada para diversas estruturas soldadas. Pode ser facilmente soldado usando métodos de soldagem comuns, como soldagem a arco, soldagem MIG ou soldagem TIG.

As suas propriedades mecânicas estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 Propriedades mecânicas aço S235JR

Propriedades	Valor
Módulo de Young [GPa]	210
Coefficiente de Poisson	0,280
Densidade [g/cm ³]	7,80
Tensão de cedência [MPa]	235
Tensão de rutura [MPa]	350

Relativamente às condições de fronteira e, mais propriamente, os contactos entre os componentes, sabendo-se que estes estão todos soldados, definiu-se que o contacto entre estes seria do tipo *bonded*, o que garante que os componentes não se separem nem que tenham movimento relativo entre si.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Os constrangimentos foram aplicados nas chapas de montagem dos rodízios, em que as duas chapas frontais teriam um constrangimento do tipo *fixed*, que irá restringir todos os graus de liberdade, enquanto as chapas traseiras teriam um constrangimento do tipo *Roller/Slider*, que apenas permite que haja movimento de translação nos eixos horizontais, estas condições podem ser verificadas na Figura 17, em que os vetores a verde, representam os eixos restringidos.

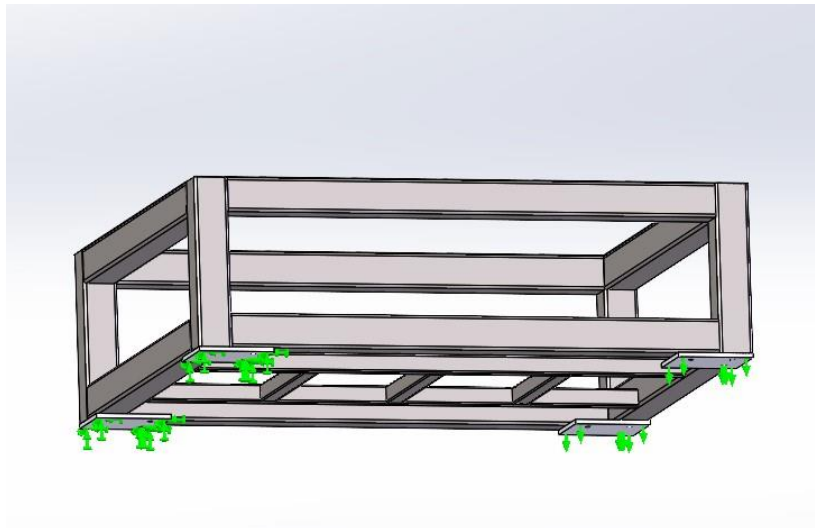


Figura 17 Constrangimentos Chassi V1

A malha criada é relativamente refinada, dada a simplicidade da geometria, o que não interferirá com grande acentuação no tempo de computação dos resultados, com elementos do tipo tetraédricos parabólicos (Figura 18), que pensa-se ser os mais adequados à aplicação, visto que as barras apresentam uma pequena curvatura, geometria esta que aliviará tensões na zona (Barlow, 1976), permitindo assim uma discretização mais aproximada da realidade (Ulbin et al., 2000).

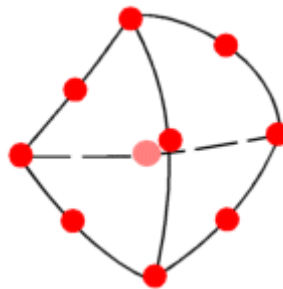


Figura 18 Elementos parabólicos tetraédricos

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Como solicitações, foram consideradas, o peso próprio do chassi, a reação do peso da máquina no chassi, que se assumiu ser 1500 Kg, por questões de segurança, ou 14715 N, o vetor terá a direção do eixo Y no sentido negativo. Será também representada a força que a inércia da máquina irá provocar no arranque do carro, cuja magnitude é de 280 N, e atua no eixo positivo de Z. Ainda se irá considerar a força centrífuga que atua no carro sempre que este estiver a descrever uma curva, esta tem uma magnitude de 32 N e atua no eixo negativo de X. Os vetores que representam as solicitações podem ser visualizados na Figura 19.

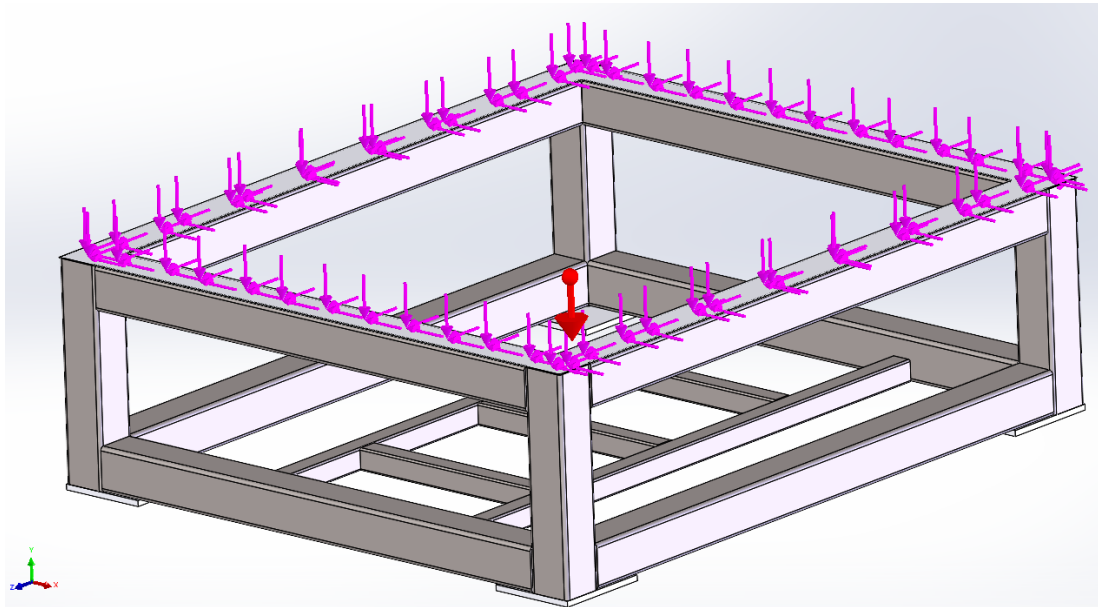


Figura 19 Solicitações Chassi V1

Assim, com o pré-processamento realizado, iniciou-se o *solver*, sendo que para resultados, os aspetos a analisar serão as tensões principais de Von Mises e o *displacement*.

Analisando as tensões de Von Mises (Figura 20) verifica-se que a tensão máxima sentida no chassi é de 10,58 MPa, mas representam singularidades em zonas de contacto entre barras, posto isto, nos locais de maior tensão, esta não se aproxima da tensão de cedência do material. Aliado ao máximo *displacement* de 0,01583 mm, que é um valor bastante reduzido, o que indica que não há preocupações no que toca a formação de flecha, garante-se que o chassi tem resistência mecânica suficiente para a aplicação, de maneira que se encontra sobredimensionado.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

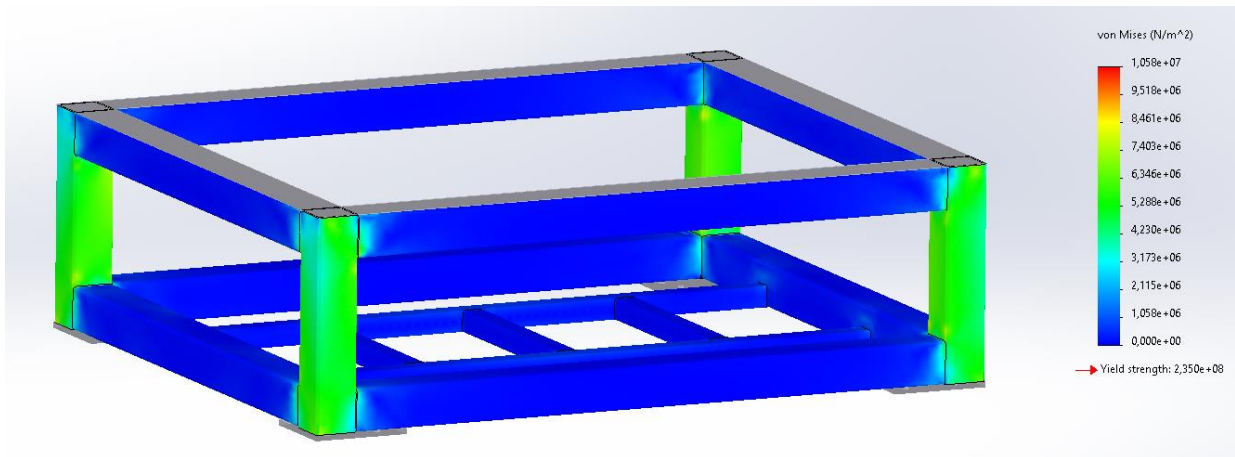


Figura 20 Tensões principais de Von Mises chassi V1

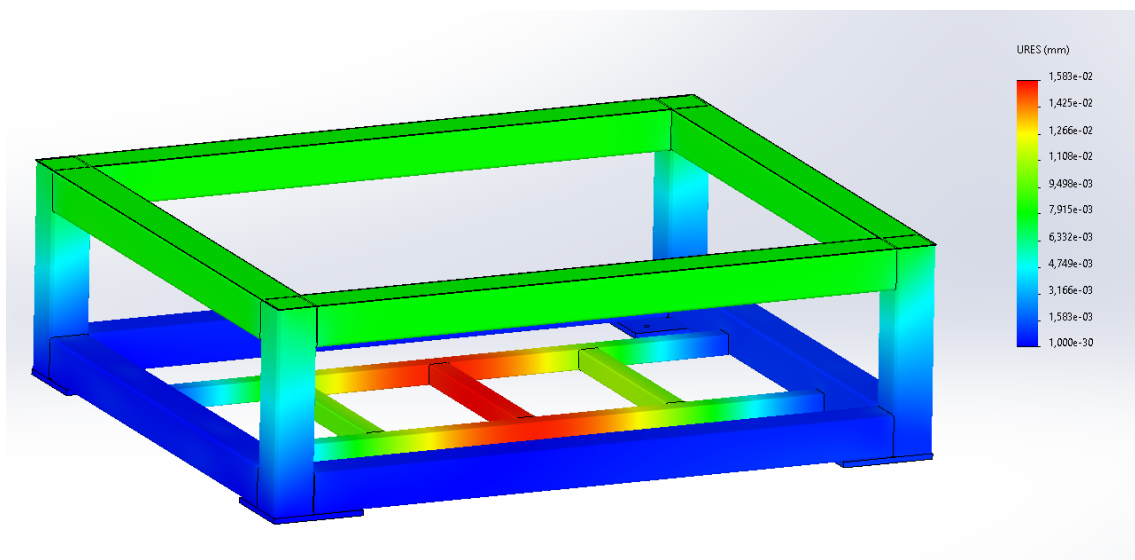


Figura 21 Displacement no chassi V1

Desta maneira, procedeu-se a um redimensionamento do chassi, modelando-se a estrutura presente na Figura 22, cuja diferença para o protótipo anterior está na dimensão da secção das barras (30x30x2mm), espera-se garantir resistência mecânica suficiente atingindo-se, também, uma redução de peso do chassi.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

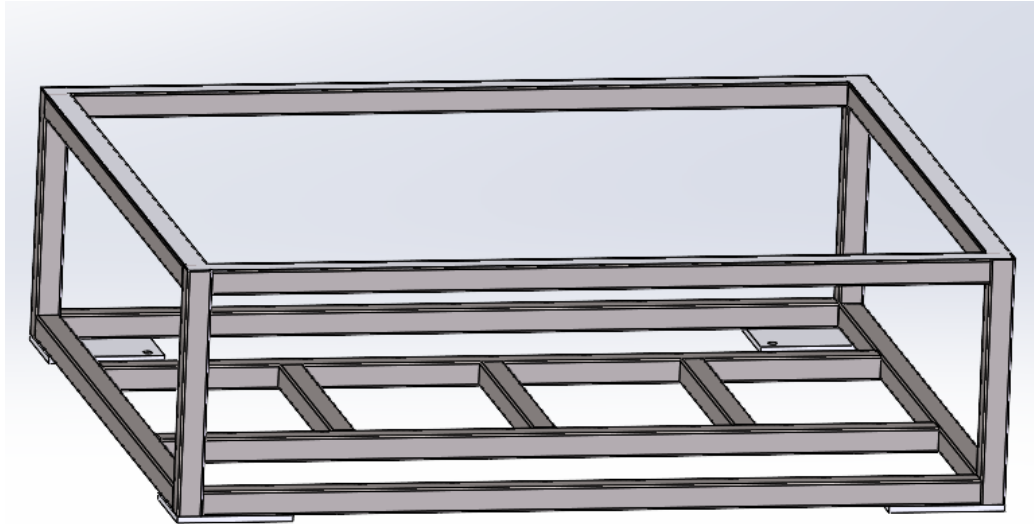


Figura 22 Protótipo chassi V2

Para este protótipo as condições de simulação foram as mesmas, mesmo material, condições de fronteira e elementos de malha, com uma malha relativamente refinada. Pretende-se analisar as tensões principais de Von Mises (Figura 23) e o *displacement* (Figura 24).

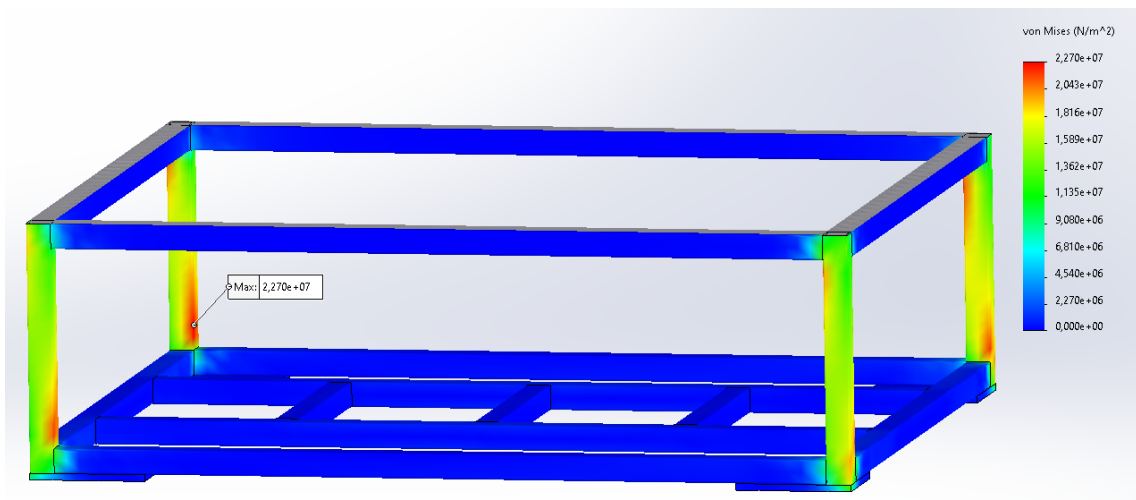


Figura 23 Tensões principais de Von Mises Chassi V2

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

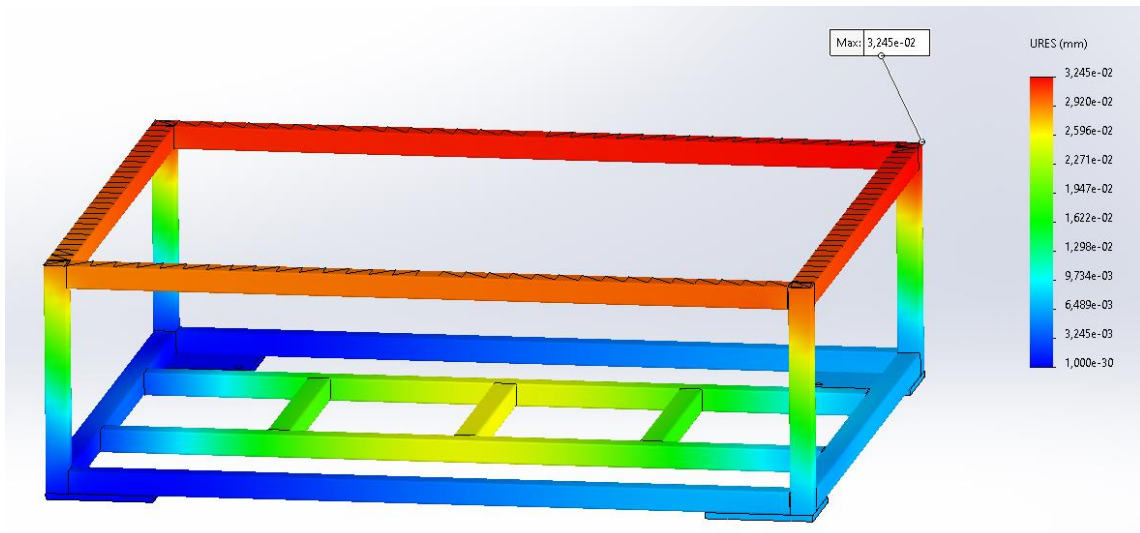


Figura 24 Displacement Chassi V2

Analisando os resultados no novo chassi, a nível de tensões principais de Von Mises (Figura 23), verifica-se que a tensão máxima sentida é de 22,7 MPa, na extremidade das barras verticais, o que faz sentido, visto que serão estas a suportar a maior parte dos esforços, ainda assim, estes valores não se aproximam da tensão de cedência do material. Com um *displacement* máximo de 0,03245 mm, entende-se que a flecha não será um problema e que o chassi apresenta resistência mecânica suficiente para garantir estabilidade estrutural em funcionamento.

Apesar dos resultados estruturais satisfatórios, chegou-se à conclusão de que o chassi, com esta configuração, é pouco ergonómico, dado que o espaço interior era demasiado para os sistemas eléctricos. Nestas condições, desenhou-se um novo protótipo que está apresentado na Figura 25.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

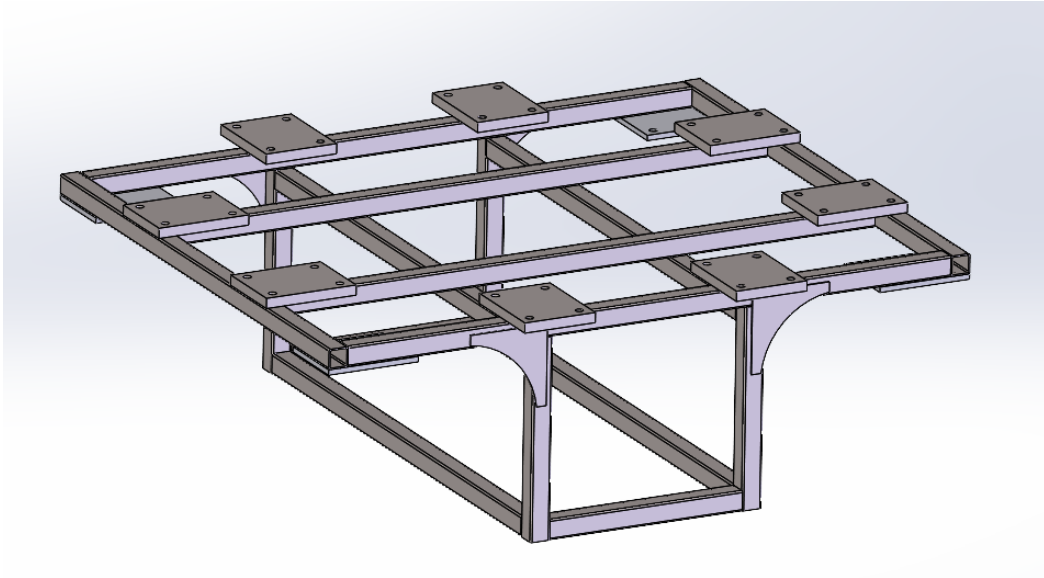


Figura 25 Protótipo Chassi V3

Neste protótipo verifica-se que o compartimento para os componentes eletrónicos é bastante menor que anteriormente, o que permite que o veículo tenha menor altura. As chapas superiores irão servir para fixar a máquina, as inferiores para a montagem dos rodízios.

Pode-se ainda ver uns elementos curvilíneos cujo propósito será aliviar as tensões nas barras, garantindo uma maior resistência do chassi.

Os constrangimentos foram, também, aplicados nas chapas de montagem dos rodízios (chapas inferiores), em que as faces inferiores teriam um constrangimento do tipo *Roller/Slider*, permitindo apenas movimento nos eixos horizontais, podendo-se simular o *displacement* longitudinal nas barras horizontais. Adicionou-se também um constrangimento *fixed* numa aresta de uma das chapas para garantir que o sistema está completamente definido e estático.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

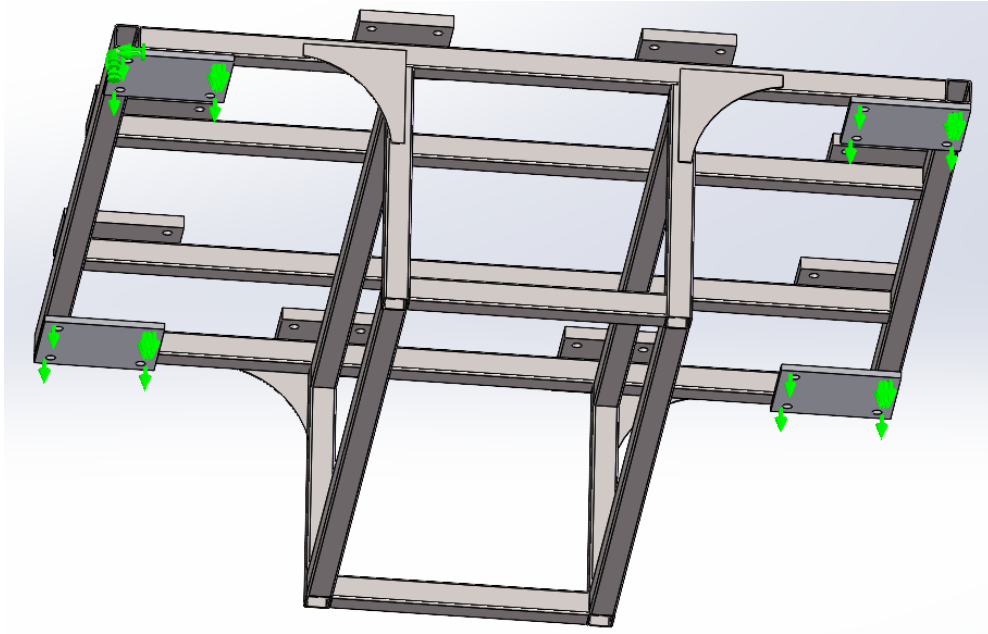


Figura 26 Constrangimentos Chassi V3

Relativamente às solicitações, nesta situação, à dissemelhança dos estudos anteriores, apenas se considerou a reação do peso da máquina no chassi (14715 N com direção do eixo Y no sentido negativo), visto que as solicitações anteriormente consideradas não iriam afetar grandemente os resultados, dada a sua reduzida intensidade, o que culminará, indubitavelmente, numa redução do tempo de computação dos resultados.

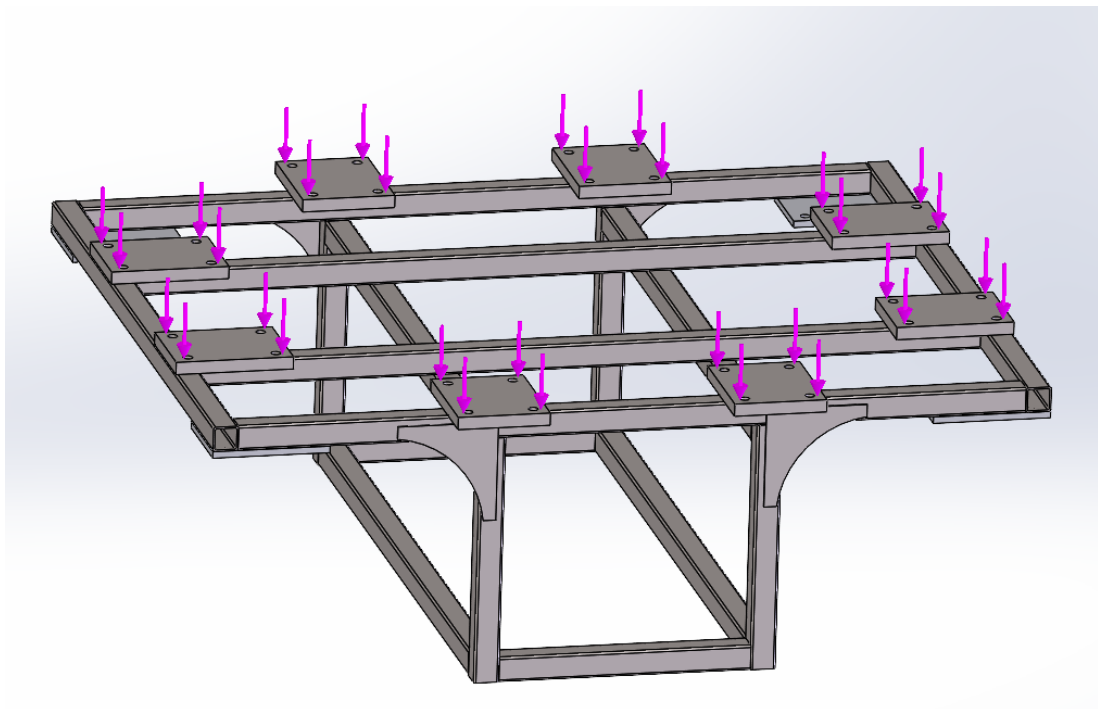


Figura 27 Solicitações Chassi V3

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

No que toca à malha do sistema, procedeu-se a um estudo de convergência da mesma, com 4 refinamentos de malha, cujos elementos utilizados foram do tipo tetraédricos parabólicos, dada a curvatura de certos elementos cruciais para os resultados, cuja representação deverá ser o mais precisa possível.

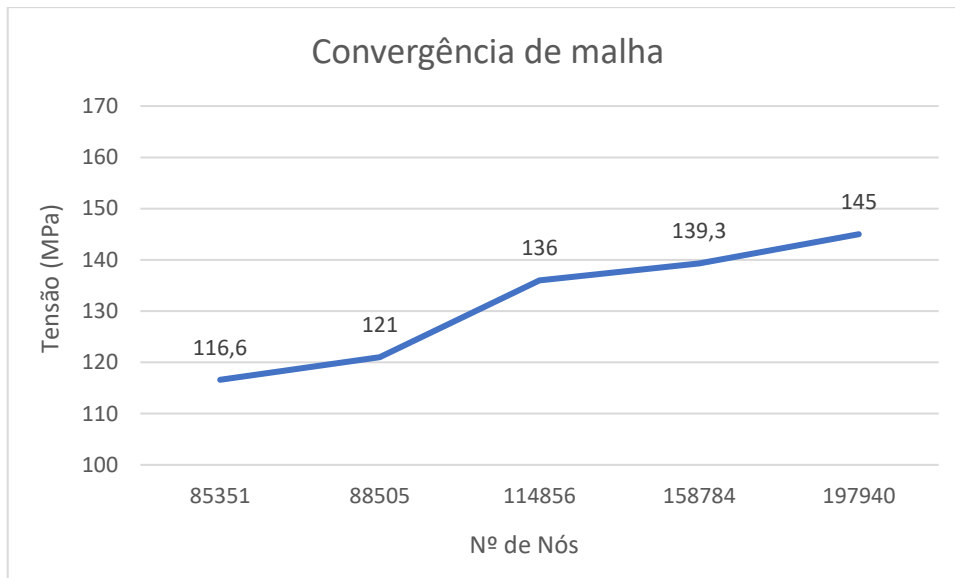


Gráfico 1 Convergência de malha protótipo chassi V3

Estudando os resultados obtidos, após o processamento do sistema em causa, relativos às tensões de Von Mises (Figura 28), apercebe-se que o valor máximo de tensão registado é de 145 MPa, numa compressão provocada pela flexão de uma das barras, num ponto próximo da chapa de fixação do rodízio, valor este que está seguramente distante do valor de tensão de cedência do material a utilizar, dado que é uma compressão, não há risco de propagação de fenda. No que toca ao *displacement* (Figura 29), o valor máximo é de 0,5365 mm, que é considerado aceitável, sendo que se assumiu como valor limite um máximo de *displacement* 1 mm. Percebe-se, assim, que o chassi possui resistência mecânica suficiente para garantir estabilidade e um correto funcionamento do sistema quando em atividade.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

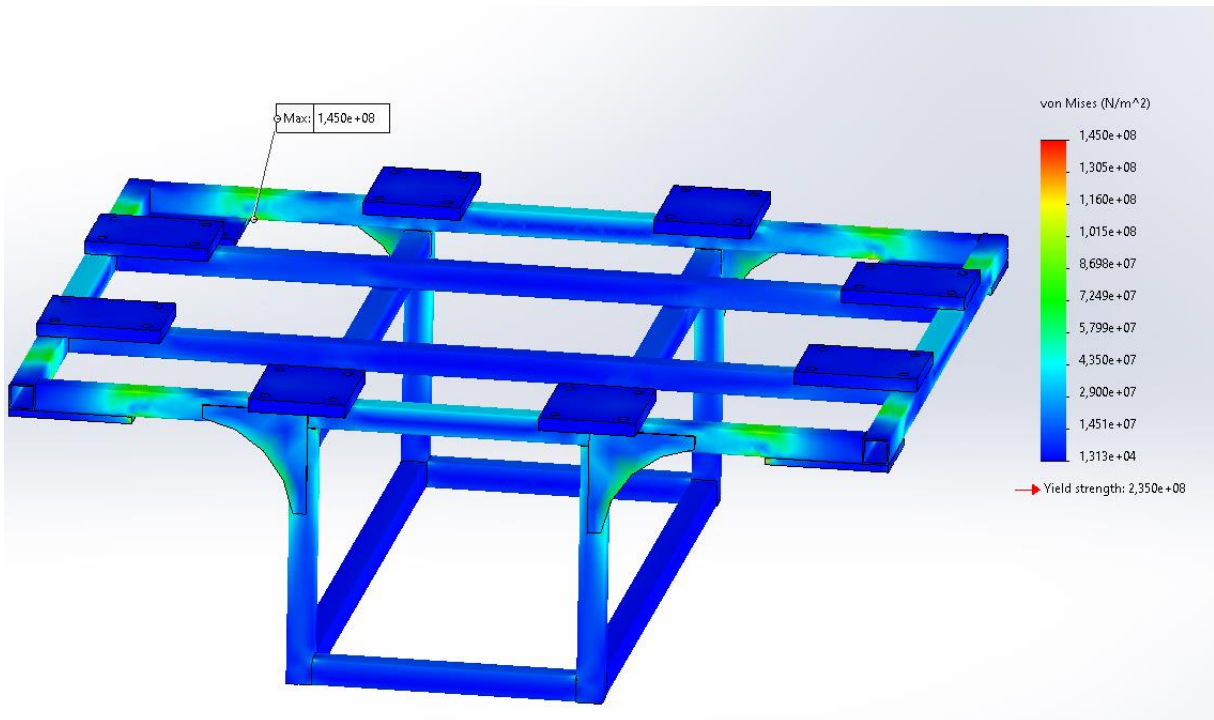


Figura 28 Tensões principais de Von Mises Chassi V3

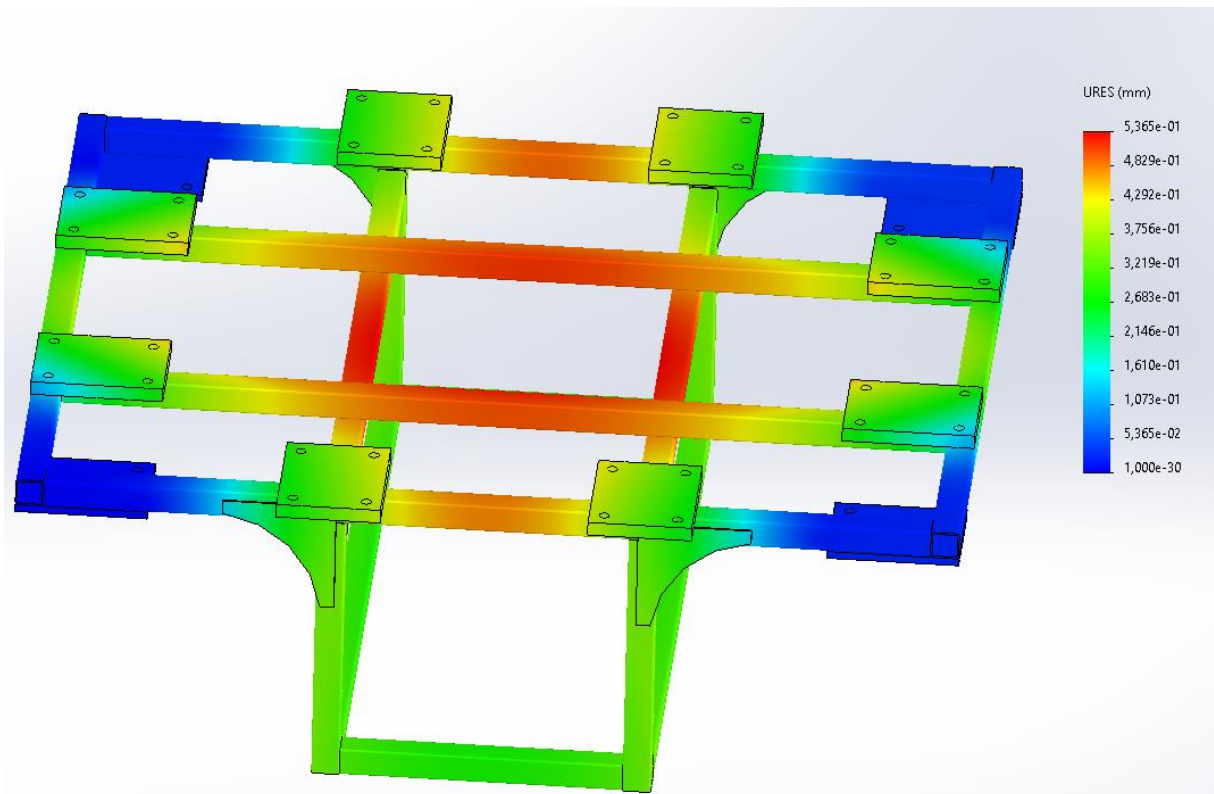


Figura 29 Displacement Chassi V3

4.2. ANÁLISE DO SISTEMA DE RODAS

Como mencionado anteriormente, a escolha do sistema de movimentação do veículo recaiu na utilização de apenas um carril, no qual apenas duas rodas se apoiariam e seriam guiadas por roletes laterais, as restantes rodas estariam simplesmente apoiadas do solo. Apenas a roda frontal guiada é que seria motora.

Assim, procedeu-se ao cálculo do esforço que cada roda iria estar sujeita. Para tal decidiu-se incluir, para além do próprio peso do conjunto, o esforço adicional provocado pela transferência de carga longitudinal na aceleração ou desaceleração do veículo. Posto isto, foi permitido recriar uma fórmula para determinar o máximo esforço em cada roda (Schramm et al., 2014), que tem a seguinte configuração.

$$F_r = \frac{mg}{4} + \frac{mg \cdot a \cdot h}{2 \cdot l \cdot g} \quad (4.1)$$

Em que F_r representa a força na roda, m representa a massa do conjunto veículo-máquina, a a aceleração do veículo, h a altura do centro de gravidade, l a distância entre a roda da frente e a de trás e g a aceleração gravítica.

Sendo que a carga será máxima nas rodas da frente durante a desaceleração e nas rodas de trás durante a aceleração, sendo que o valor de aceleração e desaceleração é simétrico e que o centro de gravidade está centrado, o valor de carga máxima que cada roda suportará será o mesmo. Assim, assumindo uma massa de 1600 kg, a altura do centro de gravidade a 1000 mm, a distância entre rodas de 920 mm e uma aceleração de 0,2 m/s², determinou-se que a força longitudinal máxima numa roda seria de 4097,9 N.

Posto isto, e sabendo a carga máxima, os rodízios que estariam apoiados no solo foram selecionados num catálogo da *Blickle*, decidiu-se que a roda teria um raio mínimo de 250 mm. Assim o modelo escolhido foi o LH-ALB 250K com as características especificadas na Tabela 2.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Tabela 2 Características do rodízio LH-ALB 250K

Características	Valor
Diâmetro da roda (mm)	250
Espessura da roda (mm)	60,0
Capacidade de carga (kg)	900
Altura do conjunto (mm)	295
Massa (kg)	5,3



Figura 30 Rodízio LH-ALB 250K

Para as rodas que seriam guiadas, o castor teve de ser idealizado, sendo que para a roda motora, este teria de ser adaptado ao motor para a devida montagem do mesmo, para a roda movida o castor apenas teria de incluir os roletes de guiamento. Ainda assim, selecionou-se a roda ALB 200/20K, também pelo catálogo da *Blickle*, que tem as características apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 Características do rodízio ALB 200/20K

Características	Valor
Diâmetro da roda (mm)	200
Espessura da roda (mm)	50
Capacidade de carga (kg)	800
Diâmetro interno (mm)	20

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Massa (kg)	1,4
------------	-----



Figura 31 Roda ALB 200/20K

Relativamente à modelação do castor, esta foi dividida em duas partes, uma denominada por garfo, em que se iria fixar a roda, e um sistema de mancal-eixo, que permitirá o movimento de rotação do rodízio em relação à chapa de fixação.

Iniciando-se a modelação do mancal, percebe-se que o movimento de rotação irá ser levado a cabo pela utilização de rolamentos, dada as solicitações axiais e radiais a que o sistema mancal-eixo estará sujeito, percebe-se que terá de ser utilizado rolamentos de rolos pareados dispostos em O, com referência 30206T40/DBC90 no catálogo da SKF, que, em oposição a uma disposição em X, podem acomodar momentos de inclinação relativamente grandes, e estão sujeitos a uma deformação menor, sendo que a interferência no funcionamento, provocado por desalinhamentos, é bastante menor numa disposição em O.

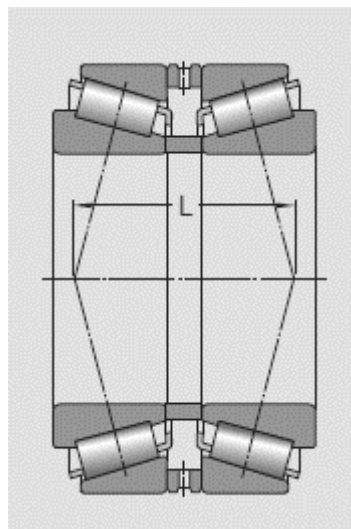


Figura 32 Rolamento de rolos pareados dispostos em O

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Como estes rolamentos são abertos, é necessário que a sua montagem seja feita num mancal fechado, para não recorrer um vazamento do fluido lubrificante, a combinação da montagem do rolamento no mancal juntamente com o veio, está esquematizado na Figura 33.

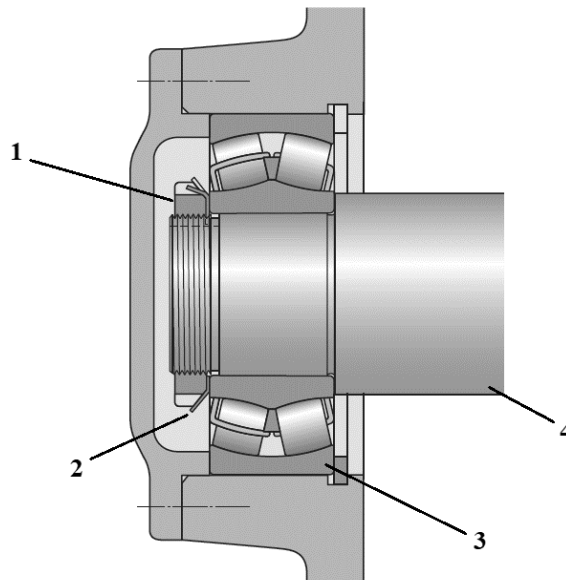


Figura 33 Montagem de rolamento em mancal fechado

Na Figura 33, o número 1 representa uma porca de fixação, que, juntamente com 2 (arruela de fixação), irão garantir a fixação do rolamento (número 3), no veio (número 4). Após a inserção do rolamento no veio, coloca-se a arruela (Figura 34) e a porca de fixação (Figura 35), que irão roscar no veio.

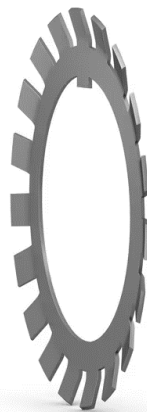


Figura 34 Arruela de fixação



Figura 35 Porca de fixação

A modelação do rodízio pode ser verificada na Figura 36, onde se vê que o mancal é aparafusado no topo do garfo, que irá garantir que a zona inferior do mancal esteja vedada. Também é visível as duas chapas que serão aparafusadas na parte frontal e traseira do garfo, que permitem o posicionamento variável dos roletes que irão guiar o rodízio ao longo do perfil.

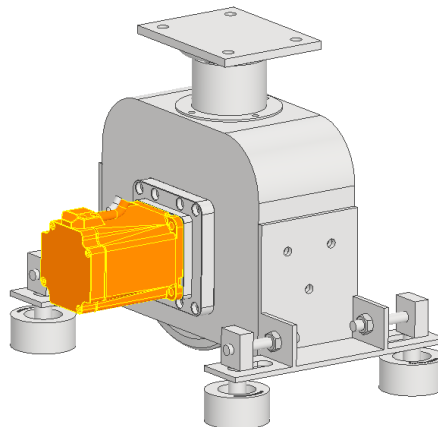


Figura 36 Rodízio frontal

Pode-se verificar a existência de umas porcas nos veios para montagem dos roletes, estes irão funcionar para aproximar ou afastar os roletes da calha de guiamento.

4.3. SELEÇÃO DO MOTOR

Inicialmente, como mencionado anteriormente, o motorreductor idealizado seria trifásico, de corrente alternada, com a montagem de uma bucha cónica, que teria capacidade de suportar os esforços axiais e radiais, provocados pelo peso do motorreductor. Sabe-se que esse sistema foi descartado, dada a complicação na alimentação do sistema. Assim, decidiu-

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

se que se seleccionaria um motor monofásico, visto que é alimentado por corrente direta, o que elimina o problema recorrente em ideias anteriores.

Procedeu-se à pesquisa e seleção do motor mais apropriado, atendendo as especificações necessárias ao projeto, sendo que se reconheceu que a escolha mais interessante seria a de um kit completo de rotor, cujo motorreductor está desde já montado com a roda, na imagem abaixo está representado um sistema deste tipo.



Figura 37 Kit de motorização RGV

Seguidamente, realizou-se o cálculo dos aspetos que determinariam as especificações do motor, sendo estes a potência e o torque máximo. Para isto, calculou-se, primeiramente, a força de tração (2.3), com os parâmetros apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Parâmetros para cálculo da força de tração

Parâmetro	Valor
Massa (kg)	1600
Aceleração gravítica (m/s^2)	9,810
Coefficiente de resistência do rolamento	0,04000
Aceleração (m/s^2)	0,2000

A escolha de um coeficiente de resistência ao movimento de 0.04 está de acordo com o estudo realizado por Wargula et al. (2018), que determina experimentalmente o coeficiente de resistência do rolamento do um conjunto idêntico ao estudado neste projeto.

Dados os parâmetros indicados, o valor para a força de tração foi de 947,84 N, podendo-se, então, determinar a potência necessária do motorreductor pela equação (2.4). Assumindo

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

que a distância percorrida seria de 3m em 16 segundos, calculou-se uma potência necessária de 177,72 W. Com a força de tração calculada, é também possível determinar o torque máximo na roda, pela equação (2.5), sabendo que o raio da roda é de 0.2m, determinou-se que o torque máximo necessário seria de 94.784 N.m.

Assim, selecionou-se o modelo GM-010320 da empresa *STXIMotion*, que possui as seguintes especificações.

Tabela 5 Especificações técnicas do modelo GM-010320

Parâmetro	Valor
Diâmetro da roda (mm)	200
Torque nominal/máximo (N.m)	36/119
Tensão do motor (V)	48
Potência do motor (W)	900
Massa (kg)	5,2

4.4. SELEÇÃO DA BATERIA

É imperativo que a bateria possua capacidade de fornecer energia durante, pelo menos, um ciclo de montagem. Sabendo que o percurso é de 43,13 m e que o veículo o percorrerá a uma velocidade de 0,2 m/s, determina-se que o tempo que o veículo estará acionado num ciclo é de 215,65 segundos ou 0,0599 horas, multiplicando a potência do motor (900 W) pelo tempo de um ciclo, calcula-se que, por ciclo, o veículo irá gastar 53,91 Wh.

Com isto, pode-se determinar a bateria, que será de íão lítio, visto que possuem uma capacidade de descarga e tempo de recarga reduzidos quando comparadas com as baterias de chumbo.

A bateria escolhida é da PLB (Figura 38), e é apropriada para aplicações em AGV's, podendo ser adaptada ao projeto em estudo. Esta possui as características indicadas na Tabela 6.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Tabela 6 Especificações técnicas da bateria

Parâmetro	Valor
Tensão nominal (V)	48
Capacidade (Wh)	1248
Dimensão (mm)	530x155x128
Peso (Kg)	17



Figura 38 Bateria de lítio

Antes de descarregar, a bateria tem capacidade de fornecer energia durante 20 ciclos. Após a descarga, esta será carregada em alturas de inatividade.

4.5. COMPARTIMENTO DE COMPONENTES ELETRÓNICOS

Como dito anteriormente, o compartimento central do chassi iria servir para acoplar os componentes eletrónicos. Na definição deste compartimento, há que ter em conta que este deve estar devidamente blindado, de modo a impossibilitar o acesso, indeliberado, aos componentes eletrónicos.

Sendo assim, pensou-se que seria apropriado aplicar um sistema de gaveta com travão no fecho, com a finalidade de impedir que esta abra durante o funcionamento do RGV. Recorreu-se ao catálogo da Accuride, empresa cujo foco principal é o *design* e manufatura de soluções para movimento, com aplicações desde armários e gavetas, até todo o tipo de maquinaria, para selecionar a corrediça telescópica (Figura 39) a aplicar no sistema. A corrediça selecionada foi a de referência DZ3308-2, cujas especificações estão presentes na Tabela 7.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

Tabela 7 Especificações técnicas da corrediça DZ3308-2

Parâmetro	Valor
Capacidade de carga (Kg)	68
Extensão (mm)	711
Dimensão (mm)	711x50,8x12,7



Figura 39 Corrediça telescópica

Por fim, apenas se modelou o compartimento que seria movido pelas corrediças, pelo que o sistema de gaveta pode ser visualizado na Figura 40.

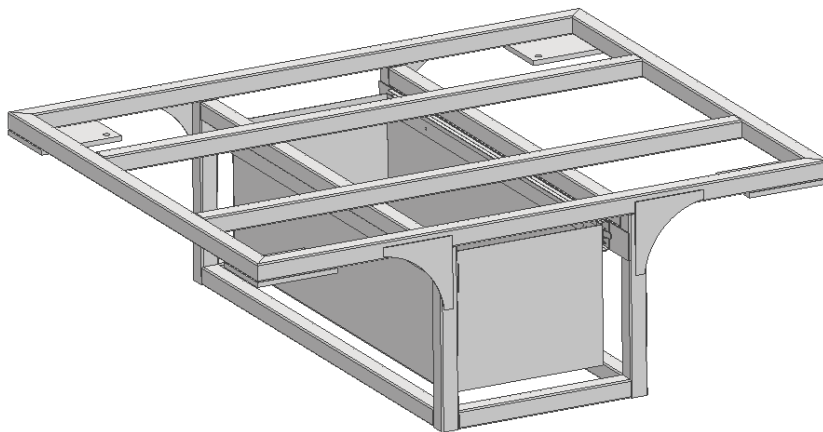


Figura 40 Sistema de gaveta

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluindo esta tese, alcançou-se o pretendido, produzir um mecanismo funcional para distribuição de materiais, assim como uma melhoria na linha de montagem. Ainda se deverá fazer uma pequena alteração no pé da máquina ECO, de modo a garantir a fixação da mesma no RGV. Mesmo assim, não se efetuou uma análise estrutural à máquina, visto que estas alterações não afetariam o seu funcionamento ou resistência estrutural. As estações de montagem devem ser adaptadas, com uma calha de guiamento, de modo a garantir que o veículo transporte o material entre as mesmas. Após o cálculo dos esforços e solicitações a que o veículo estaria submetido, foi possível determinar o sistema de motorização do veículo, assim como o sistema de rodas e o chassi, após alguns protótipos. Não foi possível realizar um estudo estrutural prático do RGV, de modo a determinar se os resultados obtidos numericamente seriam compatíveis, devido a limitações temporais. Relativamente aos resultados obtidos com a FEA, percebeu-se que a estrutura terá resistência para suportar as cargas a que será submetida sem que o material da mesma ceda e deformações mínimas.

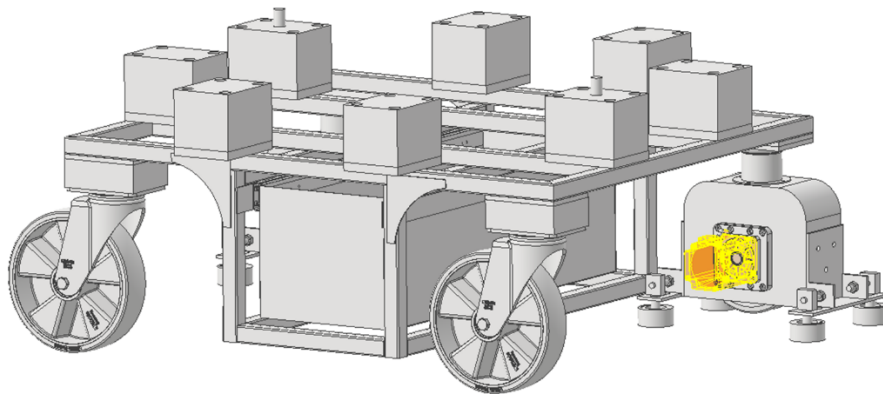


Figura 41 Modelação final do veículo

5.1. TRABALHO FUTURO

Tendo em conta que o objetivo do trabalho se enquadra na otimização de uma linha de montagem, mais especificamente no desenvolvimento e projeto de um sistema de manuseamento de material (RGV) a nível estrutural e mecânico, ainda há muito a ser estudado no que toca à composição eletrónica do veículo. Sendo assim, importante a realização de um

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

trabalho mais aprofundado ao aspeto eletrónico do RGV, seleção de componentes, programação do sistema de controlo, projeção de uma plataforma ergonómica e de fácil entendimento para a utilização, por parte dos trabalhadores, em ambiente industrial, assim como a produção de um protótipo físico.

ANEXOS

ANEXO A: EQUIPAMENTO DE MANUSEAMENTO DE MATERIAL

A.1. RECIPIENTES E EQUIPAMENTO DE UNITIZAÇÃO

Recipientes, como paletes e *skids*, e equipamentos de unitização, como máquinas de embalagem por esticamento de filme e paleteadores, criam, de forma conveniente, unidade de carga, facilitando o manuseamento de material e operações de armazenamento, protegendo adicionalmente o material.

A.1.1. RECIPIENTES

São usados para facilitar as operações de transportar e armazenar itens soltos, adicionalmente, estes recipientes podem ser colocados em paletes ou *skids*, permitindo o seu transporte em empilhadoras ou outro equipamento.

Vários materiais de tamanho reduzido ou geometrias que dificultam o seu transporte e armazenamento devem ser colocados em recipientes.

A.1.1.1. PALETES

É a forma mais comum de unitização de cargas.



Figura A. 1 Paletes comuns

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

A.1.1.2. SKIDS E SKID BOXES

Também usados com bastante frequência na indústria, *skids* e *skid boxes*, são geralmente bastante rígidos e resistentes, com elevada aplicabilidade na unitização de uma vasta gama de itens. Dada a serem feitas de metal, *skids* e *skid boxes*, não são comumente manuseadas manualmente.



Figura A. 2 Skid box

A.1.1.3. BANDEJAS DE ARMAZENAMENTO

Bandejas de armazenamento tem a função de proteger itens soltos, visto que são reutilizáveis, estas são uma alternativa viável às caixas de cartão. Depois de utilizadas, as bandejas podem ser desmontadas para aproveitar o máximo de espaço possível. É importante que as dimensões das bandejas de armazenamento sejam idênticas às das paletes, de modo a facilitar e garantir uma maior utilização de veículos de manuseamento de material.



Figura A. 3 Bandejas de armazenamento

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

A.1.2. UNITIZADORES

Equipamento para facilitar a formação de unidades de carga, em adição a *containers* e plataformas. Numa situação onde se tenha que mover caixas de cartão em paletes, deve-se garantir que os itens não deslizam ou se separam da carga, se se pode carregar uma paleta automaticamente ou se se pode descarregar a paleta automaticamente.

Para responder a estas necessidades, introduzem-se os equipamentos de unitização, como *stretchwrap*, *shrinkwrap*, *strapping*, *banding equipment*, *paletizadores* e *despaletizadores*.

A.1.2.1. STRETCHWRAP

Stretchwrap, *shrinkwrap*, *strapping* e *banding equipment*, entram todos nas categorias de embalagem de unidades de carga. Nas duas últimas, o processo pode ser feito por aço, fibras ou materiais plásticos, é um processo que pode ser manual ou mecânico e é especialmente aplicável em cargas compactas. *Stretchwrapping* e *shrinkwrapping* apenas se utiliza materiais plásticos. *Stretchwrapping* consiste em envolver um filme plástico, hermeticamente, à volta da carga, podem-se aplicar várias camadas de modo a garantir uma proteção de grau superior. Em *shrinkwrapping* coloca-se a carga num involucro plástico, no qual se aplica calor enclausurando a carga.



Figura A. 4 *Stretchwrapping*

A.1.2.2. PALETIZADORES

Nesta categoria estão incluídos paletizadores e despaletizadores, no primeiro processo, os itens são dispostos nas paletes de forma previamente definida. Despaletizadores realizam

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

a tarefa oposta, descarregam os artigos automaticamente das paletes. A versatilidade desta tecnologia, no que toca aos estilos e tamanhos disponibilizados, faz com que seja cada vez mais utilizada no mercado industrial.



Figura A. 5 *Palletizer*

A.2. EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE DE MATERIAL

Este tipo de equipamento tem como principal função o transporte de material, e são distinguidos entre si pelo seu grau de automação, pelo padrão do seu fluxo, se é contínuo ou intermitente e se é síncrono ou assíncrono, como foi discutido no capítulo 1.2.4., pelo trajeto do fluxo, se é fixo ou variável, pela localização, se é subterrâneo, no chão, térreo ou suspenso, pela taxa de transferência de material.

Um equipamento de transporte de material bem projetado deverá ter a capacidade de garantir uma relação entre os requerimentos inerentes ao material a ser transportado e as características indicadas anteriormente.

A.2.1. TAPETES TRANSPORTADORES

Transportadoras são frequentemente utilizadas quando é necessário mover material por pontos específicos e por um percurso fixo, ou seja, para tal, o volume de material transportado deve ser tal que, justifique a utilização deste método.

Podem ser categorizadas de diferentes formas, como pelo o tipo de produto a ser transportado e a localização da transportadora.

Materiais soltos, como sementes, grão e químicos secos podem ser transportados por corredeiras, cintos, pneumático, parafuso sem fim ou transportadora vibratória. Materiais de fundição, partes maquinadas e peças em paletes e bandejas, podem ser transportadas por

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

corredeiras, cintos, cintas de rolos, transportadora vibratória, transportadora de ripas, transportadora de rodas, pneumática, por carrinho ou por reboque.

A.2.1.1. CORREDIÇAS

Transportadora de corredeiras é um dos métodos mais baratos para transporte de material e geralmente usado para ligar duas linhas de transportadoras e também para funcionar como acumulador em zonas de expedição. Corredeira em espiral é aplicável para transportar itens entre andares sem ocupar muito espaço. Apesar do preço reduzido, esta tecnologia é limitada no que toca ao tipo de material a ser transportado, caixas de determinada geometria podem ficar retidas no percurso e bloquear o fluxo de material.



Figura A. 6 Corredeira em espiral

A.2.1.2. TAPETE TRANSPORTADOR

Um tapete transportador pode ser classificado e agrupado em vários tipos, os mais utilizados são, tapetes retos, tapete telescópico e tapete magnético.

O tapete reto é utilizado no transporte de itens de peso reduzido ou médio, e com especial utilidade em situações onde existe uma inclinação no trajeto. Dado o atrito entre o cinto e a carga, o tapete garante uma boa estabilidade ao produto, porém, este atrito, irá dificultar na suavidade de transição de movimentos no tapete. O tapete pode ser de rolos ou de cinta, o último é utilizado para itens pequenos e de geometria irregular, o tapete de rolos é o mais usado, que suporta uma maior vaga de materiais e o mais económico.

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material



Figura A. 7 Tapete reto

Os tapetes telescópicos são tapetes retos articulados, que funcionam como a extensão de um telescópio comum, têm grande utilidade em zonas de cargas e descargas onde os tapetes se estendem até às carrinhas que chegam para carregar ou descarregar materiais.



Figura A. 8 Tapete telescópico

Tapetes magnéticos consistem em tapetes de aço e um *slider* magnético que permite o transporte de materiais ferrosos verticalmente, em volta de cantos, invertido e para a separação de materiais ferrosos e não ferrosos. Estas características permitem que se movam peças por cima de linhas de produção ou montagem, podendo-se economizar espaço no chão e evitar realocação de equipamento.

A.2.1.3. ROLOS TRANSPORTADORES

Rolos transportadores podem ser não motorizados, neste caso também são referidos como transportadores de “gravidade”, em que com a inclinação, o deslizamento do material pelos rolos levaria ao seu movimento de rotação. Podem também ser motorizados, em que os rolos são motorizados por cintas ou correias. Dentro deste conceito, existem

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

transportadores que possuem um rolo motor que irá transmitir potência aos restantes por correntes e cintas. Nos MDR (*motorized drive roller*), os rolos são motorizados por motores elétricos no seu interior, estes podem ser acionados quando detetam carga, e permanecer desativados quando a carga é retirada, por isto, esta tecnologia permite uma poupança de energia, comparativamente às transportadoras de rolos restantes.

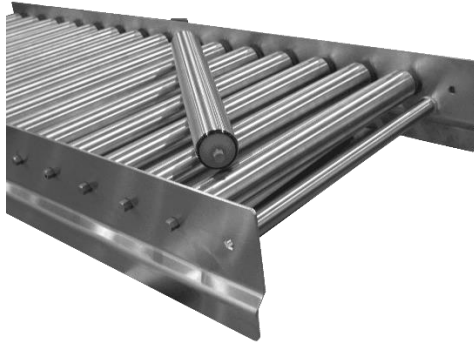


Figura A. 9 Rolos transportadores

A.2.1.4. RODAS TRANSPORTADORAS

O princípio e design é bastante semelhante aos rolos transportadores, as rodas são montadas em veios e o espaçamento destas é dependente do tipo de carga transportada. Apesar de ser, geralmente, uma opção mais barata que a de rolos, as rodas transportadoras estão limitadas a cargas leves.

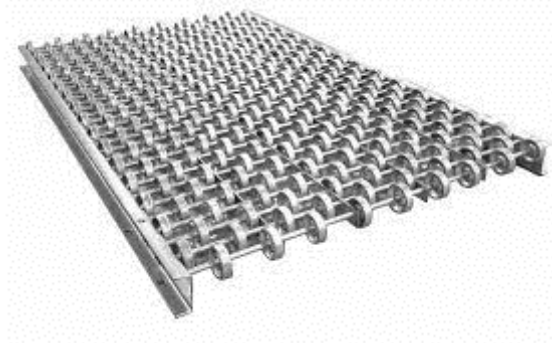


Figura A. 10 Rodas transportadoras

A.2.1.5. TRANSPORTADORAS DE RIPAS

Consistem em ripas espaçadas ao longo de um percurso, ligadas por correntes, a carga transportada mantém a sua posição relativa à superfície, pois a superfície da transportadora move com o material e controla a orientação e posicionamento da carga. Muito utilizado para

Otimização de linha de montagem: Sistemas de manuseamento de material

transportar cargas elevadas com geometrias “abrasivas” que podem danificar o tapete, são transportadas por transportadoras de ripas.



Figura A. 11 Transportador de ripas

A.2.1.6. CORRENTES TRANSPORTADORAS

Correntes transportadoras são várias correntes agrupadas nas quais os objetos são carregados diretamente



Figura A. 12 Correntes transportadores

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen, Lasse & Larsen, Jesper & Fraser, Elsie & Schmidt, Bjarne & Dyre, Jeppe. (2015). *Rolling Resistance Measurement and Model Development. Journal of Transportation Engineering.*
- Apple, J. M. (1972), "Material Handling Systems Design", Ronald Press.
- Azef-Vaziri, A. & Laporte, G. (2005), "Loop-based Facility Planning and Material Handling", *European Journal of Operations Research*, vol. 164.
- Barlow J. (1976). *Optimal stress locations in finite element models, Int. J. Numer. Meth. Engng.*, Vol 10.
- Burbidge, J. L. (1971), "Production Flow Analysis," *The Production Engineer.*
- Evans, I. (2002). *The rolling resistance of a wheel with a solid rubber tyre. British Journal of Applied Physics.*
- Ho, Y. C. & Moodie, C. L. (1998), "Machine Layout with a Linear Single-Row Flow Path in an Automated Manufacturing System," *Journal of Manufacturing Systems.*
- McAuley, J. (1972), "Machine Grouping for Efficient Production," *The Production Engineer.*
- Tompkins J. A. (2003). *Facilities planning* (3rd ed.). J. Wiley.
- Ulbin, Miran & Sraml, Matjaz & Gabriel, Dusan & Plesek, Jifi. (2000). *Stress accuracy of parabolic finite elements in contact problems analysis.*
- Warguła, Łukasz & Wieczorek, Bartosz & Kukla, Mateusz. (2019). *The determination of the rolling resistance coefficient of objects equipped with the wheels and suspension system – results of preliminary tests.*
- Zienkiewicz, Olek & Taylor, R.. (2005). *The Finite Element Method.*