



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE COM CORREIAS PARA A INDÚSTRIA DE PAVIMENTAÇÃO COM CORTIÇA

RICARDO MIGUEL RODRIGUES DA ROCHA

Junho de 2020

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE COM CORREIAS PARA A INDÚSTRIA DE PAVIMENTAÇÃO COM CORTIÇA

Ricardo Miguel Rodrigues Rocha
1150992

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE COM CORREIAS PARA A INDÚSTRIA DE PAVIMENTAÇÃO COM CORTIÇA

Ricardo Miguel Rodrigues Rocha
1150992

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

*“If you want to make the world a better place,
Take a look at yourself and make the change.”*

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação contou com a intervenção de várias pessoas que, de uma forma direta ou indireta, a tornaram possível. Posto isto, seguem-se os meus agradecimentos por toda a ajuda, motivação e apoio.

À Amorim Revestimentos pela oportunidade e a todos os seus colaboradores, em especial ao departamento de Engenharia & Manutenção, ao meu orientador José Figueiredo e ao Eng.º Rui Cruz por toda a colaboração e conhecimento partilhado. Um agradecimento também aos restantes estagiários por toda a entreaajuda vivida ao longo de todo o estágio, em particular ao Rui Figueiredo.

À Prof.ª Sandra Ramos por toda a confiança que sempre demonstrou nas minhas capacidades e todo o apoio prestado.

A todos os meus amigos e colegas que durante o percurso académico me ajudaram a chegar aqui.

Por fim, queria agradecer especialmente à minha família, por me terem acompanhado neste percurso pessoal e académico. Aos meus pais por todos os valores transmitidos e por me ensinarem a ser um lutador e a seguir o meu caminho. Aos meus irmãos por me ensinarem a bondade da partilha tanto do que é bom, como do sacrifício. Aos meus avós por todo o amor incondicional e pelos seus ensinamentos. À minha namorada por toda admiração, apoio e partilha que me faz vivenciar todos os dias.

PALAVRAS CHAVE

Avárias; Correias; Guiamento; Movimento lateral; Polias; Rebentamento; Sistema de transporte.

RESUMO

Os sistemas de transporte com correias são frequentemente utilizados em várias indústrias como parte essencial nas suas operações. O seu funcionamento simplificado, aliado à sua eficiência, entre outras vantagens, fazem das correias transportadoras uma escolha muito apreciada na indústria. Contudo, estes sistemas também têm os seus problemas que devem ser investigados e solucionados.

O rebentamento de correias, para além dos elevados custos, causam um enorme transtorno naquilo que é a fluidez da produção pelas constantes paragens e intervenções dos técnicos de manutenção. Portanto, todos estes fatores motivaram o estudo de uma nova solução, que passa pelo estudo dos princípios de funcionamento dos elementos constituintes de um sistema de transporte com correias, o movimento lateral destas ao longo do seu percurso e os sistemas de guiamento existentes de forma a corrigir o problema do descentramento. Depois de estipulados os pressupostos para uma nova solução, baseada num sistema de guiamento de um sistema de transporte com correias, este foi desenvolvido e caracterizado, assim como o seu impacto na produção.

A avaliação de dados reais de avarias nas linhas produtivas tem contribuído para um aumento dos valores dos índices produtivos das empresas, pois permite a identificação de problemas críticos e a definição de estratégias para a sua consequente mitigação.

Este relatório apresenta as principais contribuições resultantes de um trabalho de investigação que tem como objetivo principal a melhoria operacional da linha de produção CFE5 (Corte Final e Embalagem 5) da unidade fabril de Oleiros da Amorim Revestimentos, unidade de negócio pertencente à Corticeira Amorim. Os trabalhos iniciam com a análise estatística do histórico das avarias da linha de produção com o objetivo de identificar os problemas mais críticos da mesma. Depois de identificado o problema crítico, procede-se ao levantamento do estado da arte relacionado com o mesmo, com vista ao desenvolvimento de uma solução suportada, tanto na experiência de campo, como na evidência científica disponível. A última tarefa do plano de trabalhos

é o desenvolvimento do projeto da solução para o problema crítico identificado e a avaliação do seu impacto na produção.

Os resultados mostram que o rebentamento de correias de transporte das placas semiacabadas é o problema mais crítico da linha de produção em estudo e que a causa principal para esse rebentamento é o facto das correias se descentrarem facilmente e se desgastarem nas laterais da polia. A solução desenvolvida para lidar com o problema crítico incluiu a substituição de correias do tipo dentado (usadas na unidade fabril) por correias planas já que estas últimas têm um custo menor e dispensam, no contexto inserido, o sincronismo com elevada precisão que é garantido pelas correias dentadas. A solução passa ainda pela instalação de um sistema de guiamento das correias de forma a que estas não se descentrem. O sistema de guiamento selecionado e projetado, por se revelar o mais adequado para o contexto, é a utilização de polias cilíndricas com extremidades cônicas com uma largura três vezes maior que as polias dentadas usadas até ao momento.

Durante a realização deste trabalho não houve tempo, nem oportunidade para efetuar a implementação do novo sistema de transporte e medir os seus resultados, portanto, neste relatório, são apresentados três possíveis cenários futuros.

A implementação do novo sistema de transporte pode trazer grandes vantagens e grandes retornos para a produção como a redução do tempo de paragem da linha, a redução dos custos de materiais, a redução dos custos de manutenção e a descoberta de uma solução que permita a normalização de todos os sistemas de transporte com correias das unidades fabris.

KEYWORDS

Breakdowns; Belts; Guiding; Lateral movement; Pulleys; Bursting; Conveyor system.

ABSTRACT

Belt conveyor systems are often used in several industries as an essential part of their operations. Its simplified operation, coupled with its efficiency, among other advantages, make conveyor belts a very popular choice in the industry. However, these systems also have their problems that must be investigated and solved.

The bursting of belts, in addition to the high costs, cause a huge disturbance in the fluidity of production due to constant stops and interventions by maintenance technicians. Therefore, all these factors motivated the study of a new solution, which goes through the study of the principles of operation of the constituent elements of a conveyor system with belts, their lateral movement along its path and the existing guidance systems in order to correct the problem of decentralization.

After stipulating the assumptions for a new solution, using pulleys with tapered ends, of a conveyor system with belts, this solution was developed and characterized, as well as its impact on production.

The evaluation of actual data breakdowns in production lines has contributed to an increase of companies' production indices because it allows the identification of critical issues and defining strategies for their subsequent mitigation.

This report presents the main contributions resulting from a research work which main objective is the operational improvement of the production line CFE5 (Final Cut and Packaging 5) of the Oleiros plant of Amorim Revestimentos, a business unit belonging to Corticeira Amorim. The work begins with the history of the statistical analysis of the production line breakdowns in order to identify the most critical problems of the same. Once the critical problem has been identified, the state of the art related to it is surveyed, with a view to developing a supported solution, either in the field experience and in the available scientific evidence. The last task of the work plan is the development of the solution project for the identified critical problem and the evaluation of its impact on production.

The results show that the bursting of the conveyor belts of the semi-finished plates is the most critical problem of the production line under study and that the main cause for this burst is the fact that the belts are easily off-center and suffer wear on the sides of the pulley. The solution developed to deal with the critical problem included the replacement of toothed belts (used in the factory) with flat belts because flat belts have a lower cost and, in the

context inserted, do not require the high precision synchronism that is guaranteed by toothed belts. The solution also involves the installation of a belt guidance system so that they do not become off-center. The guiding system selected and designed, as it proves to be the most suitable for the context, is the use of cylindrical pulleys with conical ends with a width three times greater than the toothed pulleys used so far.

During this work, there was no time, neither opportunity, to implement the new transport system and measure its results, therefore, in this report, three possible future scenarios are presented.

The implementation of the new transport system can bring great advantages and great returns to production, such as reducing line downtime, reducing material costs, reducing maintenance costs and discovering a solution that allows normalization of all conveyor systems with belts from the manufacturing units.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
CFE5	Corte Final e Embalagem 5
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>
PE1000	Polietileno 1000

Lista de Unidades

Termo	Designação
€	Euro
kg	Quilograma
N	Newton
Nm	Newton metro
N/cm	Newton por centímetro
N/m	Newton por metro
m	Metro
m/min	Metro por minuto
m/s	Metro por segundo
m ²	Metro quadrado
m ² /h	Metro quadrado por hora
μm	Micrómetro
mm	Milímetro
Pa ou N/m ²	Pascal ou Newton por metro quadrado
MPa ou N/mm ²	Mega Pascal ou Newton por milímetro quadrado
rpm	Rotações por minuto
W	Watt

Lista de Símbolos

Termo	Designação
θ_d	Ângulo de contacto da polia menor
π	Número Pi
D	Diâmetro da polia maior
d	Diâmetro da polia menor
C	Distância entre centros
θ_D	Ângulo de contacto da polia maior
L	Comprimento primitivo da correia
i	Relação da transmissão
w_d	Velocidade angular da polia de menor diâmetro
w_D	Velocidade angular da polia de maior diâmetro
α	Ângulo de inclinação da polia no plano horizontal
h	Altura da coroa das polias com extremidades cônicas

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - DESCRIÇÃO DO PRODUTO CORK HRT (AMORIM REVESTIMENTOS, N.D.)	39
FIGURA 2 - DESCRIÇÃO DO PRODUTO WOOD HRT (AMORIM REVESTIMENTOS, N.D.)	39
FIGURA 3 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO PRODUTIVO - ADAPTADO DE (AMORIM REVESTIMENTOS, 2019)	40
FIGURA 4 - TEMPO DE PARAGEM ENTRE JANEIRO DE 2018 E SETEMBRO DE 2019	44
FIGURA 5 - NÚMERO DE PARAGENS ENTRE JANEIRO DE 2018 E SETEMBRO DE 2019	44
FIGURA 6 - TEMPO DE PARAGEM NOS 11 MESES DE TRABALHO DE 2018 E NOS 9 MESES DE 2019	45
FIGURA 7 - NÚMERO DE PARAGENS NOS 11 MESES DE TRABALHO DE 2018 E NOS 9 MESES DE 2019	45
FIGURA 8 - SECÇÃO COM CINCO CORREIAS DE TRANSPORTE	47
FIGURA 9 - CORTES NAS CORREIAS AINDA EM FUNCIONAMENTO	48
FIGURA 10 - CORREIAS REBENTADAS APÓS SUBSTITUIÇÃO	48
FIGURA 11 - DESCENTRAMENTO DA CORREIA NA POLIA	49
FIGURA 12 - POLIA DENTADA COM FLANGES LATERAIS – ADAPTADO DE (CMT, N.D.)	49
FIGURA 13 - SISTEMA DE TRANSPORTE EM MASSA (MODERN QUARRYING, N.D.)	54
FIGURA 14 - SISTEMAS DE TRANSPORTE LEVE (FOERDERTECHNIK, N.D.; MODERN QUARRYING, N.D.)	54
FIGURA 15 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CORREIA ABERTA (BUDYNAS & NISBETT, 2011)	56
FIGURA 16 - TENSÕES NA CORREIA (FLORES, GOMES, DOURADO, & MARQUES, 2017)	57
FIGURA 17 - VARIAÇÕES DAS TENSÕES NA CORREIA DURANTE UM CICLO (FLORES, GOMES, DOURADO, & MARQUES, 2017)	57
FIGURA 18 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CORREIA FECHADA INVERTIDA (BUDYNAS & NISBETT, 2011)	58
FIGURA 19 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CORREIA ABERTA INVERTIDA (BUDYNAS & NISBETT, 2011)	58
FIGURA 20 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO COM POLIAS NÃO COMPLANARES (BUDYNAS & NISBETT, 2011)	59
FIGURA 21 - SISTEMAS DE TRANSMISSÃO COM VARIADORES DE VELOCIDADE (BUDYNAS & NISBETT, 2011)	59
FIGURA 22 - COMPOSIÇÃO MÍNIMA DAS CORREIAS TRAPEZOIDAIS E PLANAS (FILHO, 2009)	61
FIGURA 23 - QUATRO PRINCIPAIS TIPOS DE CORREIAS (BUDYNAS & NISBETT, 2011)	61
FIGURA 24 - POLIA DE ABRAÇAMENTO (HABASIT AG, 2018)	63
FIGURA 25 - BASE DESLIZANTE (HABASIT AG, 2018)	65
FIGURA 26 - ROLOS DE TRANSPORTE (HABASIT AG, 2018)	65
FIGURA 27 - DESLOCAMENTO ANGULAR DA POLIA NO PLANO HORIZONTAL (EGGER & HOFFMANN, 2012)	67
FIGURA 28 - DESLOCAMENTO ANGULAR DA POLIA NO PLANO VERTICAL (EGGER & HOFFMANN, 2012)	67
FIGURA 29 - POLIA CÔNICA (EGGER & HOFFMANN, 2012)	68
FIGURA 30 - POLIA COROADA (BELTECH, 2007)	68
FIGURA 31 - POLIA COROADA (BELTECH, 2007)	70
FIGURA 32 - POLIA COM EXTREMIDADES CÔNICAS (HABASIT AG, 2018)	70

FIGURA 33 - EFEITO DO DESLOCAMENTO ANGULAR DA POLIA NO PLANO HORIZONTAL (HABASIT AG, 2018)	71
FIGURA 34 - INSTALAÇÃO COM PERFIL GUIA (HABASIT AG, 2018)	71
FIGURA 35 - CORREIA COM PERFIL GUIA (SPARKS BELTING, N.D.)	71
FIGURA 36 - SISTEMA DE TRANSPORTE EM MASSA COM ROLOS CONDUTORES EM “V” (MODERN QUARRYING, N.D.)	72
FIGURA 37 - ROLOS CONDUTORES EM “V” - ADAPTADO DE (SWINDERMAN, MARTI, GOLDBECK, MARSHALL, & STREBEL, 2009)	72
FIGURA 38 - ROLOS INCLINADOS SOBRE A CORREIA (HABASIT AG, 2018)	72
FIGURA 39 - ROLOS INCLINADOS SOB A CORREIA (HABASIT AG, 2018)	72
FIGURA 40 - ROLOS GUIA LATERAIS ((BRITO, 2014; HABASIT AG, 2018; SWINDERMAN ET AL., 2009)	73
FIGURA 41 - TIRA GUIA LATERAL (HABASIT AG, 2018)	73
FIGURA 42 - SISTEMA DE CONTROLO AUTOMÁTICO DA CORREIA – ADAPTADO DE (HABASIT AG, 2018)	74
FIGURA 43 - DIFERENTES <i>DESIGN’S</i> DAS POLIAS COROADAS – ADAPTADO DE (SPARKS BELTING, N.D.-A)	75
FIGURA 44- POLIA COROADA DIVIDIDA – ADAPTADO DE (BELTECH, 2007)	75
FIGURA 45 - EXEMPLO DO FENÓMENO DO PRIMEIRO CONTACTO – ADAPTADO DE (BRITO, 2014; HABASIT AG, 2018; SWINDERMAN ET AL., 2009)	75
FIGURA 46 - ALTURA DA COROA, H (HABASIT AG, 2018)	76
FIGURA 47 - REPRESENTAÇÃO DE UM EXEMPLO DOS BATENTES DAS PLACAS	80
FIGURA 48 - REPRESENTAÇÃO DE UM EXEMPLO DAS PLACAS LIGEIRAMENTE DESPOSICIONADAS	80
FIGURA 49 - VISTA ISOMÉTRICA DA REPRESENTAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DAS CORREIAS NO SISTEMA ANTERIOR	82
FIGURA 50 - VISTA DE TOPO DA REPRESENTAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DAS CORREIAS NO SISTEMA ANTERIOR	82
FIGURA 51 - VISTA DE TOPO DA REPRESENTAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DAS CORREIAS NO NOVO SISTEMA	83
FIGURA 52 - REPRESENTAÇÃO DA JUNTA: DEDOS COM PINOS (BELTECH, N.D.)	84
FIGURA 53 - ANEL DE FIXAÇÃO – SÉRIE KLGG (PTI, N.D.)	85
FIGURA 54 - ACOPLAMENTO DO ANEL DE FIXAÇÃO À POLIA MOTORA E AO VEIO (PTI, N.D.)	86
FIGURA 55 - ACOPLAMENTO DOS ROLAMENTOS À POLIA DE RETORNO E AO VEIO	87
FIGURA 56 - ESTICADOR DA CORREIA NA POLIA DE RETORNO	88
FIGURA 57 - VEIO MOTOR COM AS RESPATIVAS POLIAS E APOIOS	88
FIGURA 58 - REPRESENTAÇÃO DO VEIO MOTOR COM AS RESPATIVAS POLIAS E APOIOS (REPRESENTADOS A AZUL)	89
FIGURA 59 - SISTEMA DE VIRAR PLACAS	89
FIGURA 60 - UNIDADE FLANGEADA OVAL COM ROLAMENTO Y (SKF, N.D.)	90
FIGURA 61 - CHAPAS DE LIGAÇÃO DOS TUBOS ÀS ESTRUTURAS	91
FIGURA 62 - QUADRO DE RECOMENDAÇÃO DA LARGURA DA POLIA (HABASIT AG, 2018)	93
FIGURA 63 - QUADRO DE RECOMENDAÇÃO DA LARGURA DA PARTE CILÍNDRICA DA POLIA (HABASIT AG, 2018)	93
FIGURA 64 - REPRESENTAÇÃO DO ACOPLAMENTO DA POLIA MOTORA AO VEIO ATRAVÉS DE DOIS ANÉIS DE FIXAÇÃO	96
FIGURA 65 - APOIOS DA ESTRUTURA DE SUPORTE DA BASE DESLIZANTE	97

FIGURA 66 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA CALHA EM U	97
FIGURA 67 - RESULTADOS DO ESTUDO QUANTO AO DESLOCAMENTO	98
FIGURA 68 - RESULTADOS DO ESTUDO QUANTO À TENSÃO DE VON MISES	98
FIGURA 69- NOVO SISTEMA DO ESTICADOR DA CORREIA	99

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - LEGENDA DOS CÓDIGOS DAS AVARIAS	43
TABELA 2 - AVARIAS RELACIONADAS COM CORREIAS EM 2019	47
TABELA 3 - TURNOS PERDIDOS DEVIDO ÀS CORREIAS EM 2019	47
TABELA 4 - COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS TRÊS TIPOS DE CORREIAS MAIS USADOS	62
TABELA 5 - QUADRO RESUMO DOS SISTEMAS DE GUIAMENTO - ADAPTADO DE (HABASIT AG, 2018)	74
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES DAS CORREIAS UTILIZADAS NA SECÇÃO DO VIRADOR DE PLANAS	84
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES DAS POLIAS UTILIZADAS NA SECÇÃO DO VIRADOR DE PLANAS	85
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DA POLIA	94
TABELA 9 - ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA DE TRANSPORTE PARA A SELEÇÃO DA CORREIA	95
TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS DA CORREIA SELECIONADA	95
TABELA 11 - ORÇAMENTO PARA A SECÇÃO DO VIRADOR DE PLACAS	101
TABELA 12 - DIMENSÕES DAS SECÇÕES SELECIONADAS	103
TABELA 13 - ORÇAMENTO PARA AS LINHAS DOS ACABAMENTOS FINAIS	105
TABELA 14 - QUADRO RESUMO DO CENÁRIO 1	106
TABELA 15 - QUADRO RESUMO DO CENÁRIO 2	106
TABELA 16 - QUADRO RESUMO DO CENÁRIO 3	107

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Contextualização	29
1.2	Objetivos.....	30
1.3	Metodologia.....	31
1.4	Estrutura	32
2	DESCRIÇÃO DA EMPRESA E IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA CRÍTICO.....	37
2.1	Apresentação da empresa	37
2.1.1	Corticeira Amorim	37
2.1.2	Amorim Revestimentos	38
2.2	Análise dos dados das avarias.....	41
2.2.1	Apresentação da linha.....	41
2.2.2	Recolha e organização dos dados das avarias.....	42
2.2.3	Análise das avarias e seleção do problema.....	46
2.3	Identificação do problema crítico	47
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	53
3.1	Sistemas de transmissão e de transporte.....	53
3.1.1	Princípio de Funcionamento	55
3.1.2	Outras geometrias.....	58
3.2	Sistemas de transporte leve com correias planas.....	59
3.2.1	Composição da correia	60
3.2.2	Tipos de correia.....	61
3.2.3	Polias	63
3.2.4	Outros componentes de um sistema de transporte leve	64
3.2.4.1	Estrutura de suporte	64
3.2.4.2	Base deslizante	65

3.3	Falhas típicas no transporte de correias planas.....	65
3.3.1	Movimento lateral da correia plana.....	67
3.3.1.1	Causas do movimento lateral	68
3.3.1.2	Vantagens do guiamento da correia	69
3.4	Sistemas de guiamento	70
3.4.1	Polias coroadas ou com extremidade cônica.....	75
4	DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO.....	79
4.1	Solução proposta.....	79
4.2	Projeto de instalação.....	81
4.2.1	Sistema anterior.....	84
4.2.1.1	Correias	84
4.2.1.2	Polias.....	85
4.2.1.3	Acoplamento da polia motora ao veio	85
4.2.1.4	Acoplamento da polia de retorno ao veio	87
4.2.1.5	Esticador da correia.....	87
4.2.1.6	Apoios do veio	88
4.2.1.7	Base deslizante	90
4.2.1.8	Estrutura de suporte	91
4.2.1.9	Motorização.....	91
4.2.2	Elementos a manter	92
4.2.3	Novos elementos e adaptações	92
4.2.3.1	Polias.....	92
4.2.3.2	Correias	95
4.2.3.3	Acoplamento da polia motora ao veio	95
4.2.3.4	Acoplamento da polia de retorno ao veio	96
4.2.3.5	Base deslizante	96
4.2.3.6	Estrutura de suporte	97
4.2.3.7	Esticador da correia.....	99
4.3	Análise de custos.....	99
4.3.1	Custos atuais.....	100
4.3.1.1	Secção do virador de placas.....	100
4.3.1.2	Acabamentos Finais	100
4.3.2	Investimento.....	101
4.3.2.1	Secção do virador de placas.....	101
4.3.2.2	Acabamentos finais.....	102
4.3.3	Cenários futuros.....	105
4.3.3.1	Cenário 1	106
4.3.3.2	Cenário 2	106
4.3.3.3	Cenário 3	107

4.3.3.4	Análise de resultados	107
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	111
5.1	Conclusões	111
5.2	Proposta de trabalhos futuros	112
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	117
6.1	Artigos científicos	117
6.2	Livros	118
6.3	Dissertações de mestrado	118
6.4	Documentos de empresas e fabricantes	119
6.5	Fontes de informação exclusivamente para figuras.....	119
7	ANEXOS.....	123
7.1	Ficha técnica do anel de fixação KLG030	123
7.2	Ficha técnica do rolamento de esferas 16006	124
7.3	Ficha técnica da unidade flangeada oval com rolamento “Y” F2B 30M-FM	125
7.4	Ficha técnica do motor trifásico DT71D4/MM03.....	127
7.5	Ficha técnica do rolamento de esferas 63006-2RS1	128
7.6	Desenhos técnicos.....	130

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Estrutura

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo divide-se em quatro secções e tem como propósito enquadrar e apresentar o trabalho desenvolvido. O capítulo é iniciado com uma contextualização do tema estudado, seguindo-se uma descrição dos objetivos do trabalho e a apresentação da metodologia de trabalho seguida. O capítulo é encerrado com a descrição da estrutura geral deste documento.

1.1 Contextualização

A globalização dos mercados e o aumento da competitividade tem provocado constantes desafios nas organizações. A Corticeira Amorim, sendo uma das empresas portuguesas mais internacionais e dinamizadoras da economia, tem sempre procurado diversificar e investir em novas áreas, de forma a rentabilizar ao máximo aquela que é uma matéria prima com grandes benefícios ambientais e características que a ciência não consegue superar: a cortiça. Segundo Américo Amorim, antigo Presidente do Conselho de Administração da Corticeira Amorim, “internacionalizar não é exportar, é ter posições estratégicas no exterior que aproximam a empresa dos seus clientes”. A Amorim Revestimentos, S.A., unidade de negócios pertencente à Corticeira Amorim e líder mundial na produção e distribuição de pavimentos e decorativos de parede com incorporação de cortiça, segue também esta filosofia (Corticeira Amorim, n.d.).

Sendo este mercado relacionado com a decoração, a Amorim Revestimentos (AR), vê-se obrigada a apostar na inovação e diversificação dos seus produtos, face à forte competitividade dos canais de distribuição de revestimentos e às novas tendências. A sustentabilidade tem um papel cada vez mais relevante nas organizações e, portanto, a procura por ideias sustentáveis capazes de preencher as exigências dos clientes, quer a nível da produção, quer a nível do próprio produto, tem sido uma aposta da empresa.

A inovação e conseqüente renovação têm de estar asseguradas através do desenvolvimento das operações internas, contudo, muitas vezes a necessidade de colocar rapidamente novas opções no mercado cria problemas na produção, que não está internamente preparada para tantas mudanças nos seus processos.

A diversificação dos produtos aproxima a empresa dos seus clientes através da oferta de diferentes soluções. Contudo, esta diversificação provoca muitos problemas na produção, já que as encomendas são mais pequenas o que provoca um aumento na

complexidade do processo produtivo. Estando esta empresa muito dependente das máquinas, a multiplicidade dos lotes de produção obriga a constantes trocas nas linhas, atuando assim como um fator que se opõe à padronização dos processos. Consequentemente, existe um maior número de *setups*, maiores tempos de paragem e menores índices de qualidade e de produção. Desta forma, a capacidade produtiva da empresa sofreu um decréscimo enorme e, por esse motivo, a AR encontra-se numa fase de reestruturação quer a nível dos processos relacionados com a produção, quer a nível do portefólio de produtos que a empresa produz, visando assim aumentar os seus índices produtivos, continuar a ser competitiva e a satisfazer os seus clientes.

A análise de dados reais de avarias observadas nas linhas produtivas tem-se revelado um veículo importante para o aumento dos índices produtivos das empresas, pois permite a identificação de problemas críticos e a definição de estratégias para a sua mitigação.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma solução que visa a melhoria operacional, a custos reduzidos, da linha de produção Corte Final e Embalagem 5 (CFE5) da unidade fabril de Oleiros da AR.

Tratando-se de um objetivo ambicioso e tendo em conta as restrições temporais associadas a um estágio, a sua concretização será focalizada na prossecução dos seguintes objetivos mais específicos:

1. Análise estatística do histórico das avarias da linha de produção CFE5 com o objetivo de identificar os problemas mais críticos da mesma;
2. Levantamento do estado de arte relacionado com os problemas críticos identificados, com vista ao desenvolvimento de uma solução suportada, tanto na experiência de campo, como na evidência científica disponível;
3. Desenvolvimento do projeto da solução para o problema crítico identificado;
4. Avaliação do seu impacto na produção.

1.3 Metodologia

No sentido de concretizar os objetivos enumerados no ponto anterior, foi definida e executada a seguinte metodologia de investigação/trabalho:

1. Observação do processo e análise do histórico de avarias

A análise do histórico de avarias será procedida de uma exploração de todo processo produtivo da linha desde as máquinas que a constituem, até aos diferentes produtos que lá são fabricados e os problemas que estas variedades podem causar à linha desde a fase de produção até aos ajustes efetuados nos *setups*.

Será realizada uma categorização das avarias e registados os tempos de paragem e o número de intervenções, para cada categoria, durante um período de tempo. Os dados recolhidos serão sumariados através de gráficos de barras, ordenadas da maior para a menor, tanto para o tempo total de paragem, como para o número de paragens total, em cada categoria.

2. Identificação do problema crítico

Na identificação das categorias críticas serão considerados os gráficos de barras, selecionando-se as categorias que maximizam o binómio maior tempo de paragem e maior número de intervenções. Após a seleção das categorias críticas, o problema crítico a mitigar será identificado através da ponderação dos seguintes fatores:

- consequências que o problema traz para a linha;
- possíveis ganhos que a resolução do mesmo traria;
- se se trata de um problema existente em mais linhas na fábrica;
- quais as possíveis ideias de solução e a exequibilidade dessas soluções;
- investimento necessário;
- área científica em que se insere o problema tendo em conta um dos propósitos desse trabalho ser a realização de uma dissertação.

3. Revisão do Estado da Arte relacionado com o problema crítico

A revisão do “Estado da Arte”, que tem como objetivo o levantamento e uma apreciação crítica da literatura correspondente, dando-se assim a conhecer a evolução do conhecimento sobre o problema em aberto, será baseada em pesquisas em bases de dados, como a Biblioteca do Conhecimento on-line (B-on), em pesquisas livres na *World Wide Web*, em relatórios técnicos, teses e dissertações e em livros da especialidade.

4. Definição da solução e desenvolvimento do projeto para o problema crítico

A definição da solução para o problema crítico será baseada nos resultados da revisão da literatura e terá em conta os custos da solução, a exequibilidade da mesma e as condições de adaptabilidade aos restantes elementos da linha.

A solução será projetada e dimensionada para ser testada numa secção bastante problemática da linha.

5. Análise da viabilidade financeira da solução proposta

Será elaborado um orçamento do investimento necessário para a instalação do novo sistema na secção crítica e serão estimados os ganhos/prejuízos anuais tendo como referência o sistema atual. Caso o problema crítico seja um problema comum a várias linhas de toda a fábrica será apresentado um orçamento para toda a fábrica.

1.4 Estrutura

O presente relatório encontra-se estruturado de acordo com uma sequência de raciocínio e aplicação estando dividido em cinco capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se um enquadramento do tema e as razões que o motivaram, assim como os objetivos propostos e a metodologia usada de forma a alcançá-los.

No segundo capítulo apresenta-se a descrição da empresa onde foi realizado o trabalho e, particularmente, a linha CFE5 onde foram recolhidos os dados reais de avarias. De seguida, é apresentada toda a análise destes dados e, por fim, é identificado e descrito o problema crítico que deu origem ao tema deste trabalho.

No terceiro capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica do tema em estudo, sendo primeiramente introduzidos os conceitos dos sistemas de transporte e transmissão com correias e, posteriormente, focando naquilo que são as falhas das correias de transporte planas e quais os sistemas de guiamento existentes.

No quarto capítulo é apresentada a solução proposta e é descrito o projeto de instalação desde o sistema de transporte anterior até ao novo. Posteriormente, é apresentado o orçamento para a implementação do novo sistema e é feita uma comparação dos custos atuais com os possíveis custos no futuro, tendo também em conta o investimento necessário para a instalação do novo sistema e impacto que este poderá ter na produção

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões retiradas tendo em conta todas as fases do projeto desde a deteção do problema, passando pelo estudo do estado da arte

do tema, até ao desenvolvimento do projeto e o impacto que este pode ter na empresa. São apresentados quais poderiam ser os próximos passos quer a nível de investigação, quer a nível da implementação do projeto.

DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PROBLEMA CRÍTICO

- 2.1 Apresentação da empresa
- 2.2 Análise dos dados das avarias
- 2.3 Identificação do problema crítico

2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA CRÍTICO

Neste capítulo apresenta-se primeiramente a empresa onde foi desenvolvido o trabalho.

De seguida, é feita a análise dos dados das avarias passando pela apresentação da linha em que o trabalho foi desenvolvido até à metodologia usada e aos resultados obtidos na análise de avarias.

Por fim, é identificado e caracterizado o problema crítico a solucionar.

2.1 Apresentação da empresa

Neste subcapítulo encontra-se a descrição da empresa onde foi realizado o projeto.

2.1.1 Corticeira Amorim

A Corticeira Amorim SGPS, S.A. é uma das maiores multinacionais de origem portuguesa e líder destacada no setor da cortiça. Presente em mais de 70 países, com 30 unidades industriais, 52 empresas de distribuição e 254 principais agentes espalhados pelo mundo e com uma história com 150 anos completados no presente ano de 2020, a Corticeira Amorim tem como missão acrescentar valor à cortiça, de forma competitiva, diferenciada e inovadora, em perfeita harmonia com a natureza.

A Corticeira Amorim desenvolve com base na cortiça, uma matéria prima 100% natural, renovável, reciclável e reutilizável. A cortiça promove a sustentabilidade económica e social em zonas de risco de desertificação, favorecendo ainda a preservação do montado de sobro, um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade que presta inúmeros benefícios ambientais, quer na retenção de dióxido de carbono, como na proteção contra incêndios.

Adicionalmente, a Corticeira Amorim procura constantemente otimizar o consumo de todos os materiais utilizados na produção. No que diz respeito à matéria prima, tem

implementado um processo produtivo integrado, através do qual assegura a reutilização de todos os subprodutos resultantes da transformação da cortiça. Tudo o que não pode ser reutilizado é reciclado, sendo que a principal fonte de energia advém do pó de cortiça e de outras biomassas.

Quanto às unidades de negócio, o grupo está presente: desde que a cortiça é retirada das árvores com a Amorim Florestal, S.A., dedicada à compra, armazenamento e preparação da cortiça; na produção de rolhas com a Amorim & Irmãos, LDA; na produção de compósitos aglomerados de cortiça e cortiça com borracha com a Amorim Cork Composites; na produção de materiais isoladores para construção com a Amorim Isolamentos; e, por fim, na produção de pavimentos e decorativos de parede com a Amorim Revestimentos, S.A., na qual foi desenvolvido o projeto apresentado nesta dissertação.

Como resultado do seu sucesso e da liderança no setor, a empresa faturou um volume de negócios, no ano de 2018, de mais de 700 milhões de euros, sendo que, a maior parte desta faturação pertence à unidade de negócios das rolhas (Corticeira Amorim, 2019).

2.1.2 Amorim Revestimentos

A unidade de negócios dedicada à produção de revestimentos iniciou a sua atividade no ano de 1978 com a criação da Ipocork, contudo, a AR surgiu apenas mais tarde, em 1996, da fusão entre a Inacor, S.A. e a Ipocork, S.A.. No ano de 1989 foi também adquirido o grupo sueco Wicanders, presente no mercado há mais de 100 anos visando assim a internacionalização da empresa e um posicionamento forte naquele que é o maior mercado desta área, o norte da Europa.

A AR é constituída por duas unidades fabris, com localizações em Lourosa e em São Paio de Oleiros, ambas pertencentes ao concelho de Santa Maria da Feira, no distrito de Aveiro. A unidade fabril de Lourosa encontra-se em fase de transformação com o propósito de ser um centro logístico e, atualmente, dedica-se apenas à produção de blocos e laminados de cortiça para fornecer as instalações de Oleiros. O projeto apresentado nesta dissertação foi realizado na unidade fabril de Oleiros, que se encontra também numa reestruturação e que se encontra atualmente dividida num edifício de componentes e três de acabamentos finais.

A AR combina métodos tradicionais com a tecnologia mais recente para a produção de produtos distintos, resistentes, elegantes e confortáveis. Os produtos fabricados são produtos multicamadas, como os exemplos representados na Figura 1 e na Figura 2:



Figura 1 - Descrição do produto Cork HRT (Amorim Revestimentos, n.d.)



Figura 2 - Descrição do produto Wood HRT (Amorim Revestimentos, n.d.)

Como já foi referido, a unidade fabril de Oleiros encontra-se dividida num edifício de componentes e três de acabamentos finais. Na Figura 3 está representado o esquema do processo produtivo da AR:

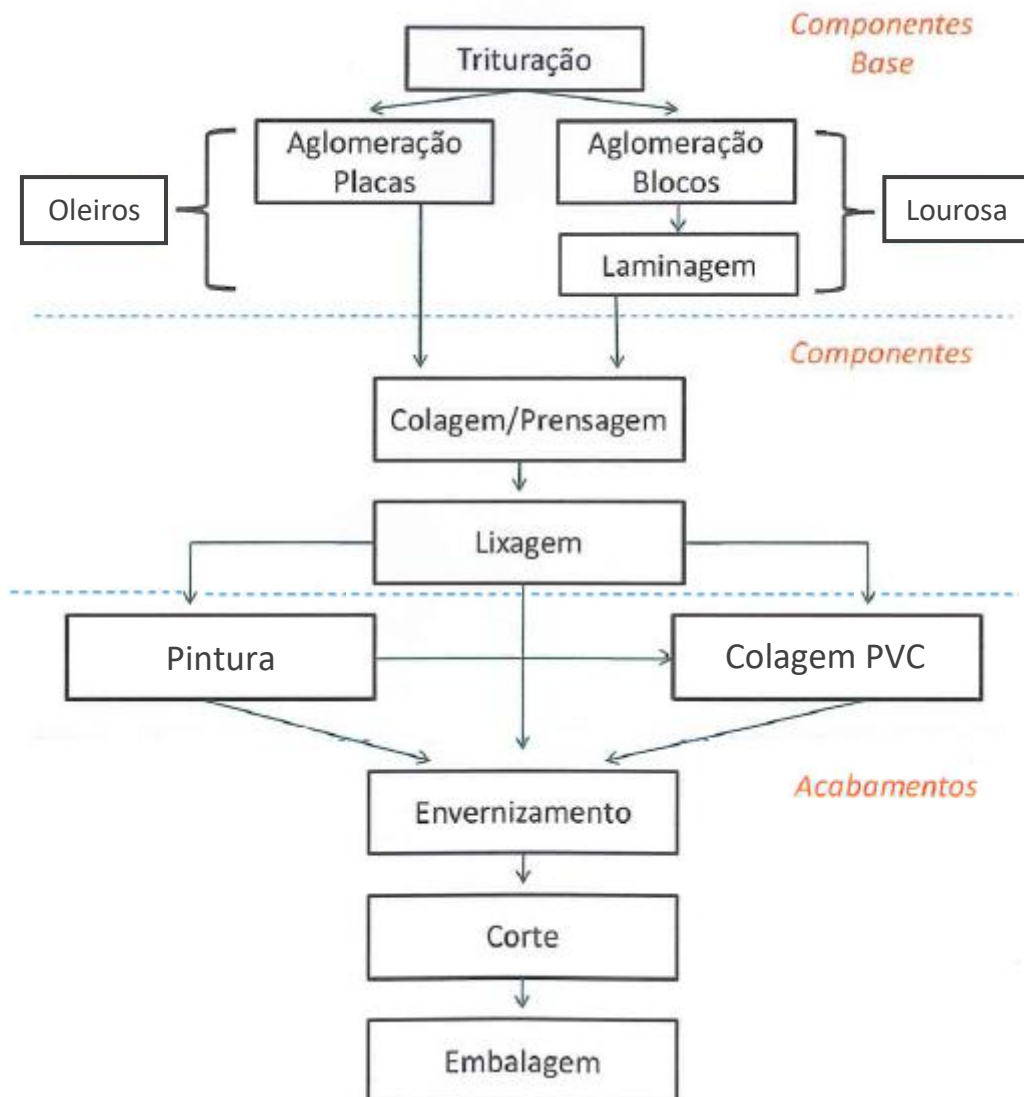


Figura 3 - Esquema representativo do processo produtivo - Adaptado de (Amorim Revestimentos, 2019)

2.2 Análise dos dados das avarias

Neste subcapítulo encontram-se apresentadas as operações efetuadas e os recursos constituintes da linha atribuída para a elaboração da análise de avarias, bem como a metodologia usada, os resultados obtidos e as conclusões retiradas de forma a selecionar o problema a solucionar.

A atribuição desta linha em específico deve-se ao facto do seu *output* ser o produto acabado, tendo assim mais valor o produto que aqui circula, que noutras linhas da fábrica e, portanto, é crucial reduzir ao máximo o número e o tempo de paragens desta linha. Trata-se também de uma linha que tem avarias comuns a outras linhas e, por esse motivo, traz a vantagem de, ao solucionar estas avarias nesta linha, estar a solucionar avarias noutras linhas da fábrica.

2.2.1 Apresentação da linha

A linha atribuída para a realização da análise das avarias foi a linha CFE5, instalada no edifício de Acabamentos Finais 3, pertencente à unidade fabril de Oleiros. O *input* da linha são placas semiacabadas de piso flutuante que já passaram por todo o processo de constituição de todas as camadas, sendo que as operações feitas nesta linha são:

- As placas são cortadas de acordo com as dimensões finais;
- É feito o corte do perfil de encaixe transversal e longitudinal;
- É feito um controlo de qualidade;
- É formada a caixa onde são embaladas as placas;
- A caixa é etiquetada;
- É colocado um papel de identificação do produto;
- A caixa é plastificada;
- É formada uma palete com as caixas;
- É colocada uma cinta e quatro cantoneiras em torno da palete;
- A palete é plastificada.

Assim, o *output* da linha são paletes com caixas de placas prontas a enviar para o cliente.

De forma a realizar estas operações, a linha é constituída pelos seguintes recursos:

- Três máquinas de corte;
- Uma máquina de formação da caixa e embalagem;
- Uma máquina de aplicação de etiquetas;
- Uma máquina de aplicação de *inserts* (papel de identificação do produto);
- Uma máquina de plastificação da caixa;

- Um forno de refração do plástico;
- Um robô para a formação da palete;
- Uma cintadeira;
- Uma máquina de plastificação da palete;
- Um paletizador e dois despaletizadores, ambos a vácuo;
- Três sistemas de virar placas;
- Quatro carros transportadores;
- 40 sistemas de correias transportadoras;
- 22 sistemas de rolos transportadores;
- Dois operadores.

2.2.2 Recolha e organização dos dados das avarias

Para a realização da análise de avarias, primeiramente, foi explorado todo o processo produtivo da linha incluindo:

- as máquinas que a constituem;
- os diferentes produtos que lá são fabricados e os problemas que estas diferenças podem causar à linha;
- os ajustes efetuados nos *setups*;
- o impacto que os operadores podem ter na linha apesar de ser uma linha bastante automatizada.

O passo seguinte passou por perceber como era feito o registo das avarias pelos operadores, sendo que os dados fornecidos eram um pouco confusos, e efetuar uma categorização das avarias por máquina, tipo de avaria ou secção de forma a organizar estes dados e obter assim uma melhor análise dos mesmos. Desse modo, foram criados 22 códigos de forma a fazer esta categorização, que se encontram legendados na Tabela 1:

Tabela 1 - Legenda dos códigos das avarias

Código	Legenda
CINTA	Cintadeira
COR	Problemas relacionados com correias
DESPAL	Despaletizador
EEC	Elevador Estabilização Contínuo
EP	Emplastificador de Paletes
FA	Falta de Aspiração/Despoeiramento
FORNO	Forno da MER
HO1	2ª máquina de corte - Homag N1
HO2	3ª máquina de corte - Homag N2
MAI	Máquina Aplicação <i>Inserts</i>
MAE	Máquina Aplicação Etiquetas
MER	Máquina de Emplastificação e Refração
MFCE	Máquina de Formação da Caixa e Embalagem
MS	Máquina Separadora (Descontinuada a partir de 01/07/2019)
PAL	Paletizador (Novo a partir de 01/07/2019)
PHO	1ª máquina de corte - Homag Pré Corte
ROBOT	Robô de formação de paletes
SCH	Unidade Transporte e Selagem Schiele
TAPETE	Tapetes e rolos transportadores
TE	Transportadores da zona escolha/controlo de qualidade
TP	Carros Transportadores
OUTRO	Problemas elétricos, indefinidos, relacionados com empilhadores, entre outros

Foram analisados os dados de avarias do ano 2018 e do ano 2019 até setembro. Depois de atribuir um código a cada avaria e agrupar assim as avarias, para cada código foram analisadas: as horas de paragem, o número de intervenções os números e um subagrupamento de avarias frequentes. Os dados referentes às horas de paragem e ao número de intervenções desde janeiro 2018 até setembro de 2019 encontram-se representados, respetivamente, na Figura 4 e na Figura 5:

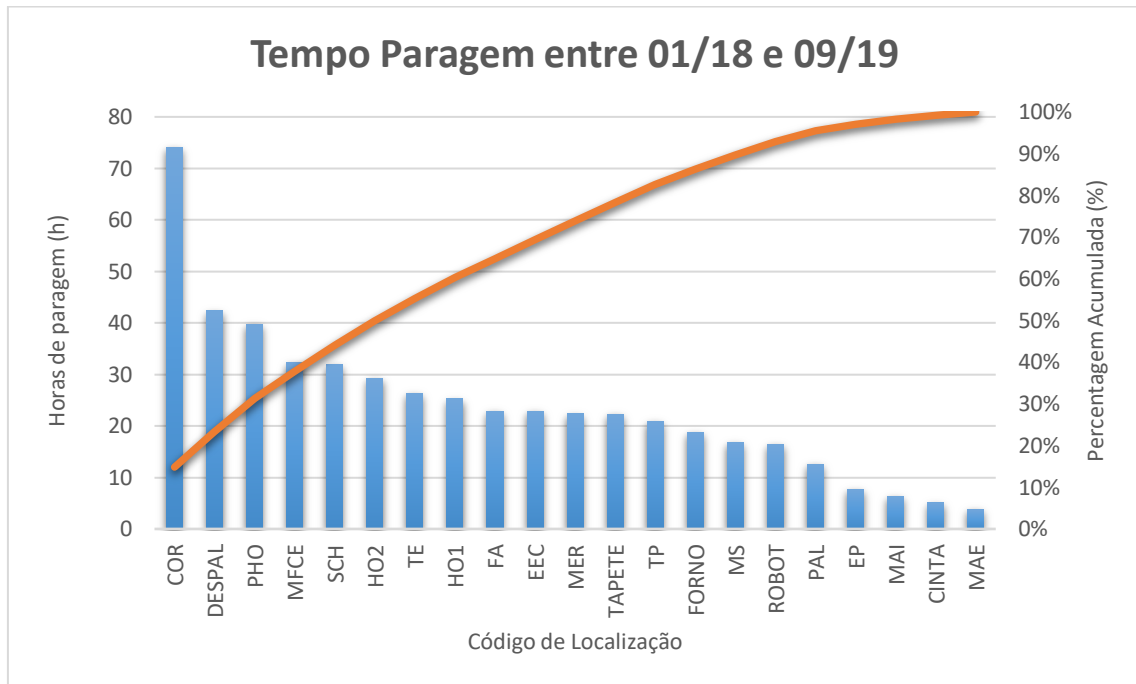


Figura 4 - Tempo de paragem entre janeiro de 2018 e setembro de 2019

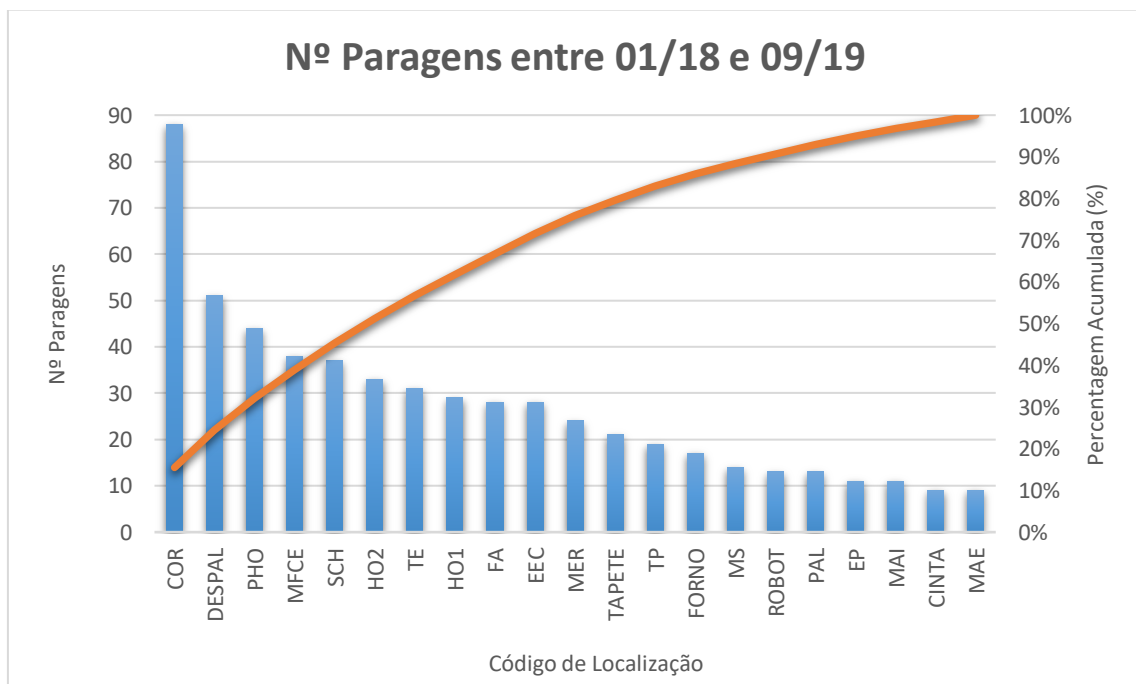


Figura 5 - Número de paragens entre janeiro de 2018 e setembro de 2019

Na Figura 6 e na Figura 7 é possível comparar os 11 meses de trabalho de 2018 com os oito meses de trabalho de 2019. Apesar de não ser apropriado comparar 11 meses com oito, é possível perceber que alguns códigos, nos oito meses de 2019, já têm um número superior de horas de paragem e do número de intervenções e que, por outro lado, alguns códigos como o “MAE”, o “MER” e o MFCE”, diminuiram bastante estes valores.

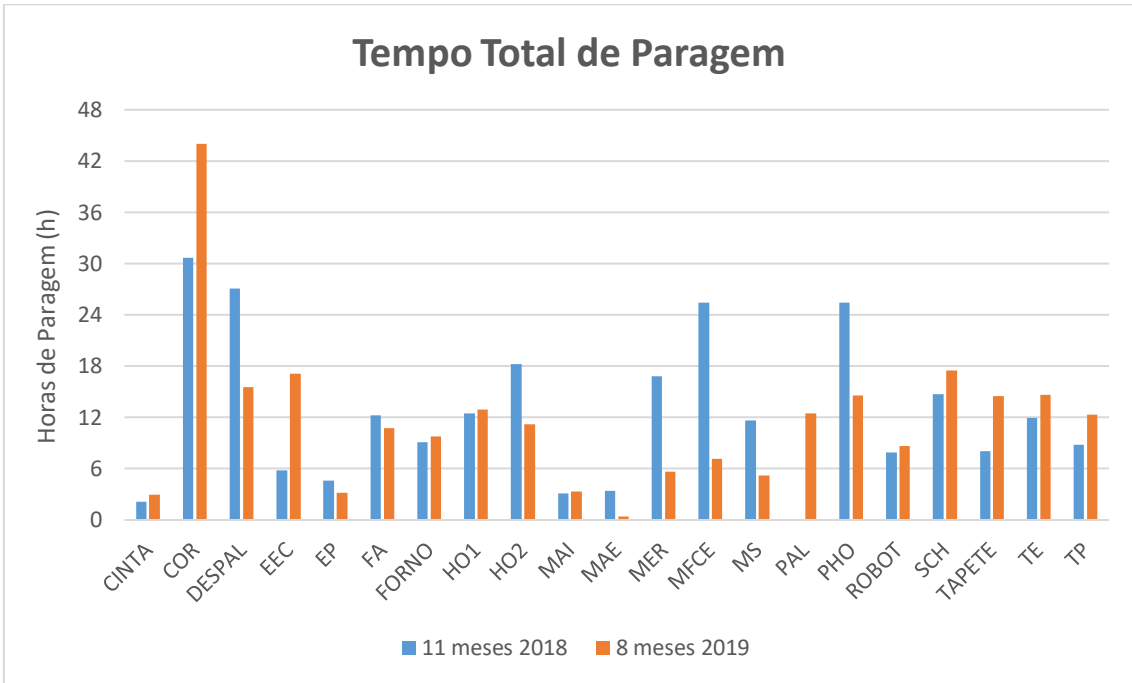


Figura 6 - Tempo de paragem nos 11 meses de trabalho de 2018 e nos 9 meses de 2019

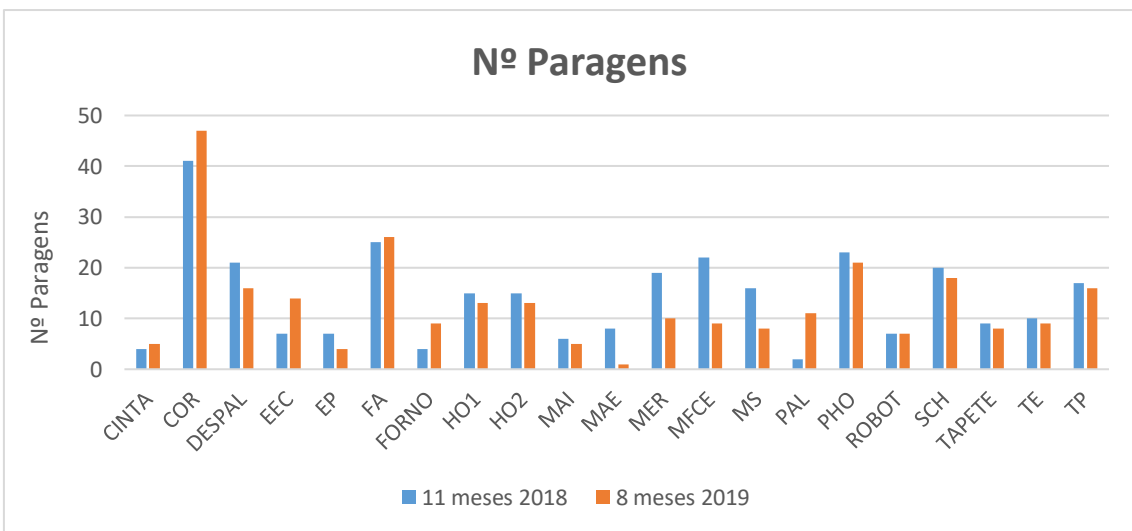


Figura 7 - Número de paragens nos 11 meses de trabalho de 2018 e nos 9 meses de 2019

2.2.3 Análise das avarias e seleção do problema

Observando os gráficos de Pareto da Figura 4 e da Figura 5, verifica-se que a ordem dos códigos é exatamente igual, concluindo assim que o tempo médio de paragem por intervenção varia muito pouco entre cada código. A partir da análise dos mesmos gráficos, verifica-se que os códigos mais problemáticos são o “COR”, o “DESPAL”, o “PHO” e o “MFCE”, contudo analisando os subagrupamentos de avarias dentro de cada código verificou-se que os problemas mais frequentes são:

- Rebentamento de correias transportadoras;
- Tubos rotos e entupimento dos furos das escovas dos despaletizadores e dos paletizadores;
- Problemas elétricos relacionados maioritariamente com as máquinas de corte e os carros transportadores;
- Sensores desafinados e avariados maioritariamente na zona do controlo de qualidade, no robô e nos carros transportadores;
- Parafusos partidos maioritariamente na zona do pré-corte e no elevador de estabilização contínuo.

Perante estes dados, de forma a selecionar um problema para solucionar, foram ponderados fatores como as consequências que o problema traz para a linha e os possíveis ganhos que a resolução do mesmo traria, se é um problema existente em mais linhas na fábrica, quais as possíveis ideias de solução, a exequibilidade dessas soluções e o investimento necessário, e a área científica em que se inseria tendo em conta um dos propósitos desse trabalho ser a realização de uma dissertação.

Posto isto, foi decidido trabalhar numa solução do rebentamento de correias de transporte, pois este surge como o problema mais frequente e mais grave da linha em questão, representando 15,5% das avarias da linha, mas que se alastra também a várias linhas da fábrica. Sendo um problema que causa constantes paragens que, para além dos custos de material, traz grandes custos de produção, prejudica bastante a fluidez da produção e provoca um grande número de manutenções corretivas ocupando os operadores da manutenção.

Desde o início de todo este processo, existiu uma ideia de uma possível solução, ainda com muitos aspetos por definir, mas que motivou também a escolha deste problema

A área do problema insere-se também na engenharia mecânica, nomeadamente no capítulo dos órgãos de máquinas.

Mais tarde, depois de terminado o ano de 2019, foi possível levantar os dados das avarias relacionadas com correias e perceber o impacto destas quer na linha em questão, como em toda a fábrica, como se pode observar na Tabela 2 e na Tabela 3:

Tabela 2 - Avarias relacionadas com correias em 2019

	Horas de paragem	Número de Paragens
Avarias relacionadas com correias	343	235
Total de avarias	5954	3856
Percentagens avarias relacionadas com correias	5,8%	6,1%

Tabela 3 - Turnos perdidos devido às correias em 2019

Turnos perdidos devido às correias	Total de turnos de trabalho	Percentagem turnos perdidos devido às correias
$\frac{343 \text{ h}}{8 \text{ h/turno}} = 43 \text{ turnos}$	220 dias * 3 turnos = 660 turnos	6,5%

Verifica-se que as avarias relacionadas com correias representam, aproximadamente, 6% das avarias de toda a fábrica e representam uma perda de 6,5% dos turnos trabalhados em 2019.

2.3 Identificação do problema crítico

A empresa usa correias do tipo dentado e com larguras compreendidas entre os 15 mm e os 32 mm. O número de correias por secção varia entre três e cinco correias, dependendo do tipo do material transportado e das suas dimensões. Na Figura 8 está representado um exemplo de uma secção com cinco correias de largura igual a 32 mm:



Figura 8 - Secção com cinco correias de transporte

O desgaste das correias é um acontecimento normal naquela que é a sua função, contudo, na situação em questão, este desgaste acontece muito prematuramente e com muita rapidez provocando constantemente o rebentamento ou mau funcionamento das mesmas.

Sendo este um problema existente há alguns anos na fábrica, foram surgindo soluções, contudo as mesmas passaram sempre pela substituição da correia quer a nível de espessura, largura ou revestimento. Estas diferentes soluções provocaram uma falta de padronização dos materiais usados, sendo que, existem atualmente dez tipos de correias diferentes só na linha CFE5.

De forma a encontrar a causa do problema, foi observado o funcionamento dos sistemas de transporte com correias, o estado em que as correias se encontravam durante o funcionamento e depois de rebentarem, (como se pode observar na Figura 9 e na Figura 10), e foi discutido com o departamento de manutenção como era feita a substituição das mesmas e qual poderia ser a origem do problema.



Figura 9 - Cortes nas correias ainda em funcionamento

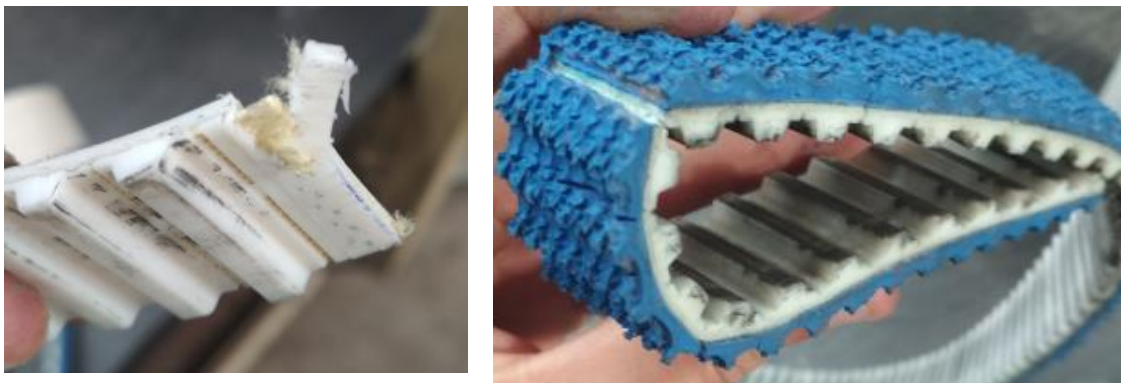


Figura 10 - Correias rebentadas após substituição

Apesar de haver várias causas que podem provocar o desgaste da correia e o seu funcionamento incorreto (tema abordado no Subcapítulo 3.3.1.1), verificou-se que a maior causa para o grande desgaste e conseqüente rebentamento das correias era o facto de estas estarem a funcionar descentradas no que diz respeito ao seu posicionamento nas polias, como representado na Figura 11:



Figura 11 - Descentramento da correia na polia

Este descentramento provoca um grande desgaste na zona lateral da correia que, movimentando-se para a extremidade da polia, tende a mover-se para cima das flanges laterais da polia (por terem um diâmetro maior), representadas na Figura 12, provocando assim enormes esforços na correia que dão origem aos cortes visíveis na Figura 9 e ao seu rebentamento.

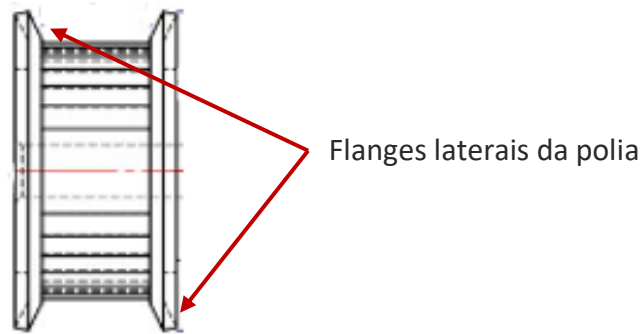


Figura 12 - Polia dentada com flanges laterais – Adaptado de (CMT, n.d.)

Grande parte das causas são muito difíceis de prever e até mesmo difíceis de observar e descobrir e, portanto, a solução para o movimento lateral passa por criar sistemas de guiamento que permitam manter a correia centrada no seu percurso.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 3.1 Sistemas de transmissão e de transporte
- 3.2 Sistemas de transporte leve com correias planas
- 3.3 Falhas típicas no transporte de correias planas
- 3.4 Sistemas de guiamento

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de transporte com correias são frequentemente utilizados em várias indústrias como parte essencial nas suas operações. O seu funcionamento simplificado, aliado à sua eficiência, entre outras vantagens, fazem das correias transportadoras uma escolha muito apreciada na indústria. Contudo, estes sistemas também têm os seus problemas que devem ser investigados e solucionados.

Neste capítulo apresenta-se a pesquisa bibliográfica realizada com o propósito de fazer um levantamento científico e sintetizar a informação recolhida acerca de sistemas de transporte com correias planas, o movimento lateral das correias e os sistemas de guiamento existentes para corrigir esse movimento.

3.1 Sistemas de transmissão e de transporte

As transmissões mecânicas classificam-se como flexíveis ou elásticas e rígidas.

As transmissões flexíveis ou elásticas são realizadas por elementos como correias, cabos ou correntes, enquanto que as transmissões rígidas são geralmente realizadas por elementos como engrenagens, veios ou rolamentos (Brito, 2014; Budynas & Nisbett, 2011).

Dado que esta dissertação se centra no estudo de sistemas de transporte com correias planas, é relevante perceber as vantagens do uso das mesmas quer em sistemas de transmissão de potência, como em sistemas de transporte.

As correias são geralmente usadas em sistemas com distâncias longas entre eixos e apresentam-se como elementos silenciosos e elásticos que permitem uma maior absorção da carga dos choques e um maior amortecimento dos efeitos das vibrações prolongando assim o tempo de vida das máquinas na qual são utilizadas. As correias apresentam também um baixo custo quando comparadas aos elementos rígidos ou às correntes e permitem ainda simplificar o *design* das máquinas reduzindo assim custos de construção. Contudo, as correias também apresentam aspetos negativos, nomeadamente problemas associados à elasticidade da correia, ao escorregamento da correia e ao desalinhamento das polias provocando assim o descentramento da correia. As correias têm um tempo de vida menor quando comparadas aos elementos rígidos e,

por esse motivo, precisam de ser periodicamente inspecionadas para monitorizar o seu envelhecimento e conseqüente desgaste (Budynas & Nisbett, 2011; Juvinall & Marshek, 2017).

No que diz respeito aos sistemas de transporte de correias, existe uma diferenciação entre sistemas de transporte em massa e sistemas de transporte leve.

Os sistemas de transporte em massa são frequentemente usados na indústria da mineração. As correias usadas são projetadas para fornecer uma elevada resistência a impactos, perfurações e rasgos, e são, geralmente mais duráveis. Os sistemas de transporte leve são usados em várias indústrias como a alimentar, têxtil, embalagem, entre outras, isto porque é possível especificar as correias em diversos parâmetros como o tamanho, compostos dos materiais e perfis. Na Figura 13 e na Figura 14 encontram-se, respetivamente, exemplos de sistemas de transporte em massa e leve.



Figura 13 - Sistema de transporte em massa (Modern Quarrying, n.d.)



Figura 14 - Sistemas de transporte leve (Foerdertechnik, n.d.; Modern Quarrying, n.d.)

3.1.1 Princípio de Funcionamento

A transmissão do movimento da polia para a correia efetua-se por atrito entre as superfícies das mesmas devido a uma força de tração inicial exercida na correia permitindo assim uma pressão da correia sobre a polia. Por este motivo, a maximização do atrito entre a correia e polia tem uma grande relevância na eficiência da transmissão. O atrito existente depende das propriedades dos materiais usados e, também das condições do ambiente em que são usados como a humidade (Brito, 2014).

A força de tração inicial deve ser rigorosamente calculada, pois se esta for inferior à necessária, irá resultar num fenómeno designado por escorregamento, que sucede quando não existe atrito suficiente entre a polia e a correia de forma a haver uma transmissão total do movimento. O escorregamento deve ser evitado pois afeta o rendimento da transmissão e danifica a superfície da correia e, conseqüentemente, prejudica o seu tempo de vida. Se a força de tração inicial for superior à necessária, irá resultar num comportamento instável da correia e num maior desgaste da correia e, também, numa sobrecarga dos rolamentos e dos veios (Brito, 2014; Juvinal & Marshek, 2017; Ribeiro, 2015).

Na polia motriz, a correia entra em contacto com a polia com uma força de tração maior que aquela com que sai, isto porque, ao longo do percurso da correia na polia, esta é submetida às forças de atrito que a fazem perder o seu alongamento e sofrer assim uma contração. Na polia movida acontece o contrário, pois é na saída onde a força de tração é maior e, ao longo do percurso, é a polia que se opõe ao movimento transmitido pela correia que volta a sofrer um alongamento. Estes constantes alongamentos e contrações da correia provocam uma deformação elástica na correia. *“A ação na polia motriz ao longo da parte do ângulo de contato que está realmente a transmitir potência, é tanta que a correia se move mais lentamente do que a velocidade da superfície da polia devido à deformação elástica”* (Budynas & Nisbett, 2011).

O ângulo de abraçamento é um fator importante nas transmissões, pois corresponde à superfície de contacto entre a polia e a correia condicionando, assim, a capacidade da transmissão de potência e, também, a relação entre as forças de tração de entrada e saída da correia. Quanto maior o ângulo de abraçamento, maior será a capacidade de transmissão (Budynas & Nisbett, 2011; Juvinal & Marshek, 2017).

O sistema de transmissão correia aberta, representado na Figura 15, é o sistema de transmissão mais simples e é bastante comum em várias indústrias.

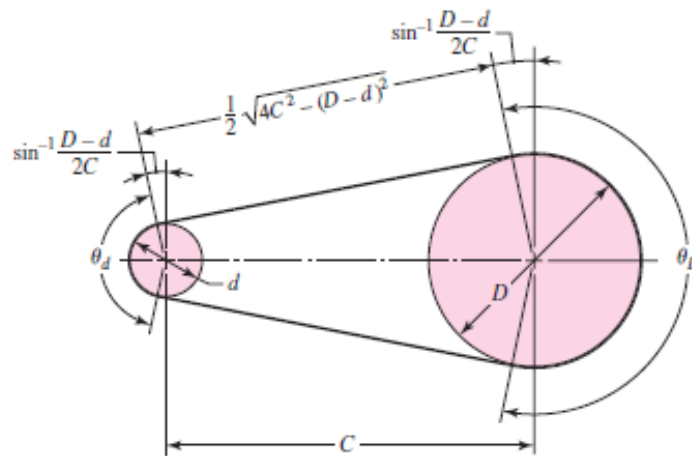


Figura 15 - Sistema de transmissão por correia aberta (Budynas & Nisbett, 2011)

Os ângulos de abraçamento das polias maior e menor, na Figura 15, em que ambas as polias apresentam o mesmo sentido de rotação são calculadas, respetivamente, por:

$$\theta_d = \pi - 2 * \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2 * C} \right) \quad (1)$$

$$\theta_D = \pi + 2 * \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2 * C} \right) \quad (2)$$

O comprimento da correia influencia o número de ciclos a que a correia é sujeita num determinado período de tempo. Assim, optando por correias maiores, é reduzido o número de ciclos originando num maior tempo de vida útil.

O comprimento primitivo da correia é a soma dos comprimentos dos dois arcos com o dobro da distância entre o fim e o início do contacto da correia com a polia, que é dado por (Budynas & Nisbett, 2011):

$$L = [4 * C^2 - (D - d)^2]^{1/2} + \frac{1}{2} * (D * \theta_D + d * \theta_d) \quad (3)$$

Um aspeto também relevante é a relação da transmissão, que é dada pela divisão da velocidade angular da polia de menor diâmetro pela velocidade angular da polia de maior diâmetro, ou pela divisão do maior diâmetro pelo mais pequeno (Budynas & Nisbett, 2011; Juvinall & Marshek, 2017; Ribeiro, 2015).

$$i = \frac{w_d}{w_D} = \frac{D}{d} \quad (4)$$

Ao longo do seu percurso, a correia está sujeita a tensões devido às forças de tração, mas também às forças centrífugas e, portanto, sofre tensões de flexão aquando do contacto com a polia. “As cargas provenientes da flexão da correia em torno das polias, apesar de apresentarem valores baixos, são cíclicas, podendo causar a rotura da correia por fadiga.” (Flores, Gomes, Dourado, & Marques, 2017).

Na Figura 16 encontra-se uma representação das tensões na correia e, na Figura 17, estão representadas as respetivas variações da tensão ao longo de um ciclo.

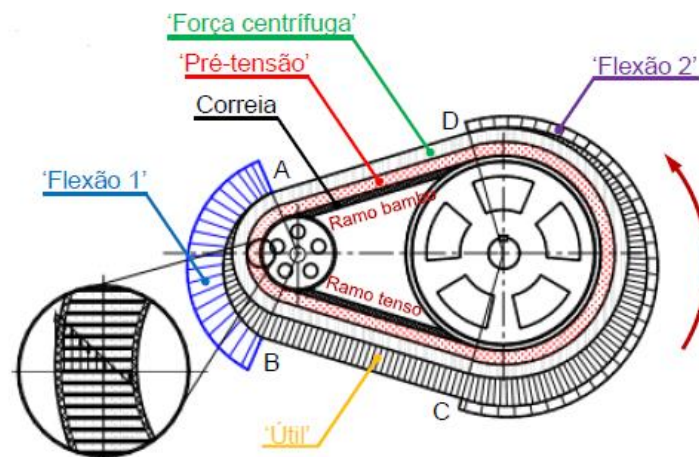


Figura 16 - Tensões na correia (Flores, Gomes, Dourado, & Marques, 2017)

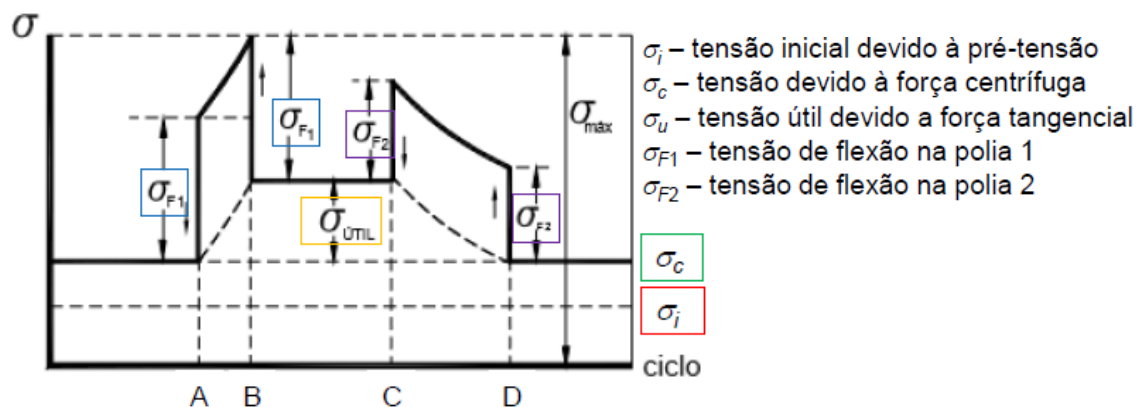


Figura 17 - Variações das tensões na correia durante um ciclo (Flores, Gomes, Dourado, & Marques, 2017)

Logicamente, os diâmetros das polias têm também uma influência no funcionamento das correias, sendo que, quanto menor for o diâmetro da polia menor, maior será a carga a que a correia está sujeita, bem como, maior será a deformação da correia e, consequentemente, menor será o seu tempo de vida (Flores et al., 2017; Ribeiro, 2015).

3.1.2 Outras geometrias

Quando se requer que o ângulo de abraçamento seja maior que os 180 graus, é muitas vezes usado o sistema de correia fechada, contudo, é apenas exequível para correias planas devido aos dois lados da correia estarem em contacto com as polias. Este sistema, representado na Figura 18, cujos ângulos de contacto são iguais nas duas polias, consiste em cruzar a correia em sentidos opostos e faz com que o sentido de rotação das polias seja oposto.

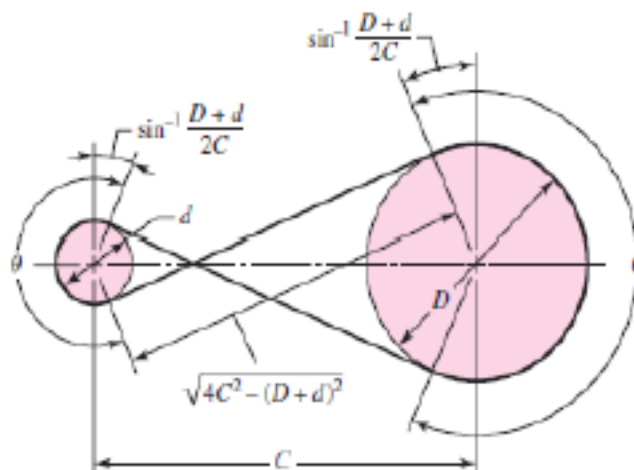


Figura 18 - Sistema de transmissão por correia fechada invertida (Budynas & Nisbett, 2011)

Outro sistema que permite inverter o sentido de rotação das polias, sem cruzar a correia, é o representado na Figura 19.

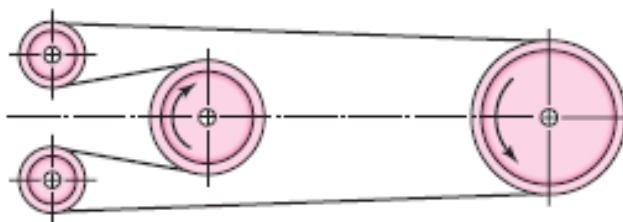


Figura 19 - Sistema de transmissão por correia aberta invertida (Budynas & Nisbett, 2011)

Na Figura 20 está representada uma transmissão com polias não coplanares. Os eixos não precisam de estar em ângulos retos, como neste caso. As polias devem ser posicionadas de modo que a correia deixe cada polia no plano médio da outra face da polia, como se pode observar na vista de topo. Para atingir outras soluções podem ser precisas polias guia.

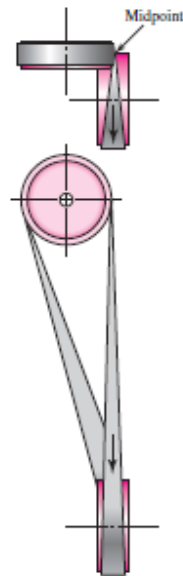


Figura 20 - Sistema de transmissão com polias não coplanares (Budynas & Nisbett, 2011)

A Figura 21 mostra duas soluções que permitem variar a velocidade da transmissão. O sistema à esquerda é geralmente usado apenas para correias planas, enquanto que o sistema à direita pode ser usado para correias trapezoidais ou redondas.

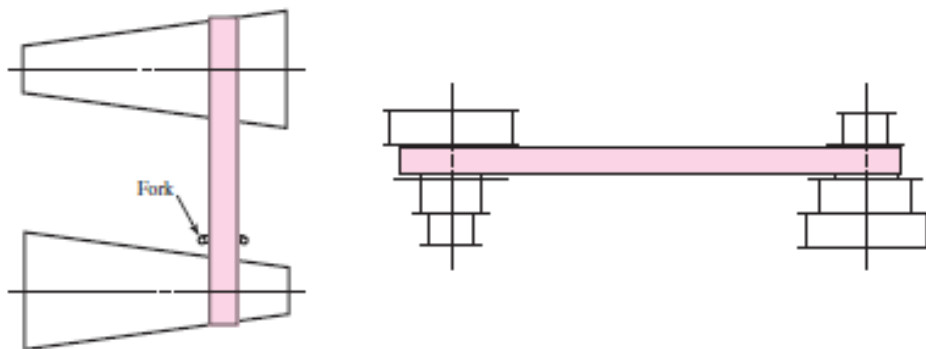


Figura 21 - Sistemas de transmissão com variadores de velocidade (Budynas & Nisbett, 2011)

3.2 Sistemas de transporte leve com correias planas

Os sistemas de transporte leve vão ser especificamente abordados, pois foi um sistema de transporte deste tipo que motivou este estudo.

A automatização de processos em várias indústrias, a internacionalização de mercados e o constante crescimento de concorrentes fez com que o mercado e as próprias propriedades das correias de transporte leve também evoluíssem. Estes fatores

motivaram os fabricantes a desenvolver novas soluções a nível de materiais, de *design*, de baixos consumos de energia e de redução de custos. Da mesma forma, o aumento das velocidades de processo e de transporte combinado com as exigências nas áreas do ruído e do saneamento, também contribuíram para o crescimento dos sistemas de transporte leve (Reusch, 2005).

3.2.1 Composição da correia

A correia é o elemento de tração do sistema de transporte cuja principal função é transportar o material na sua superfície, mas também garantir que existe atrito suficiente com a polia para que haja transmissão do movimento. De forma a executar todas estas funções, garantindo um longo tempo de vida, a correia precisa de ter algumas propriedades essenciais, nomeadamente, flexibilidade, rigidez transversal e resistência ao desgaste abrasivo. Dependendo do tipo de indústria e do material a ser transportado, outras propriedades podem ser essenciais como a resistência ao corte e a impactos, resistência à água, resistência a óleos e gorduras, resistência química, baixo ruído, saneamento, entre outras (Andrejiova & Grincova, 2018; Brito, 2014).

Atualmente, a composição das correias é de material compósito, e é geralmente constituída por uma mistura de polímeros ou tecido, impregnada com borracha e reforçada com fios de aço ou cordões de nylon (Budynas & Nisbett, 2011).

Na Figura 22 está representada a composição mínima das correias trapezoidais e planas.

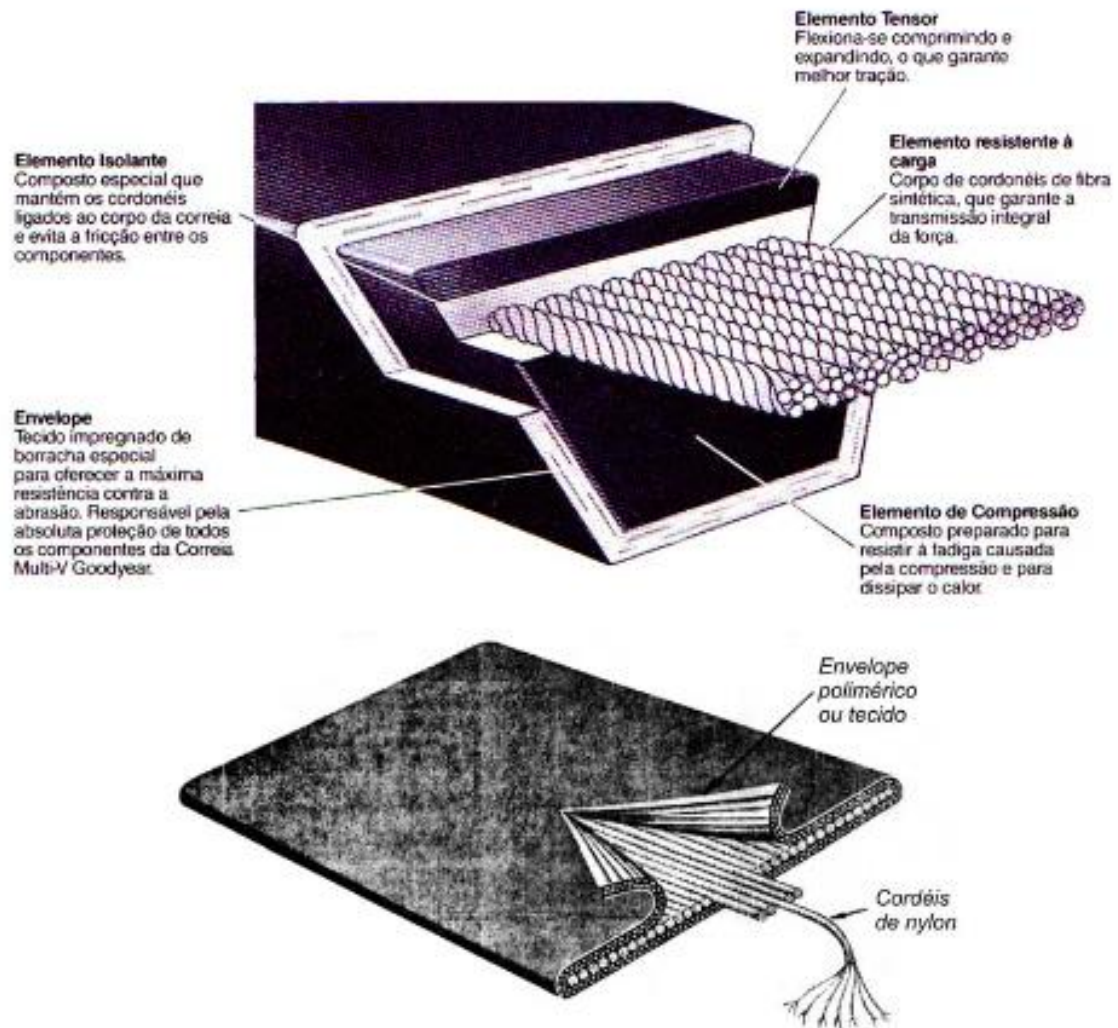


Figura 22 - Composição mínima das correias trapezoidais e planas (Filho, 2009)

3.2.2 Tipos de correia

Existem quatro principais tipos de correias: planas, trapezoidais, dentadas e redondas. As correias redondas são as menos vulgares entre as quatro, enquanto que as trapezoidais são as mais frequentes. Os seus perfis estão representados na Figura 23:

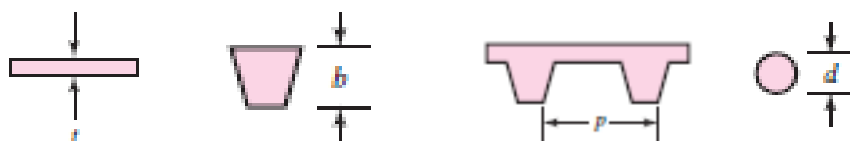


Figura 23 - Quatro principais tipos de correias (Budynas & Nisbett, 2011)

Na Tabela 4 encontra-se uma comparação das características dos três tipos de correias mais usados:

Tabela 4 - Comparação das características dos três tipos de correias mais usados

Tipo de correia	Características
Plana	<ul style="list-style-type: none"> • Usadas em polias planas ou coroadas • Eficientes em alta velocidade • Transmitem grandes quantidades de energia em longas distâncias • Geralmente, compradas em rolo e cortadas, sendo depois as extremidades unidas • Podem ser usadas várias correias lado a lado para transporte • Absorvem mais vibração de torção do sistema que as correias trapezoidais ou as engrenagens • Têm uma eficiência de 98% quanto à transmissão de energia
Trapezoidal	<ul style="list-style-type: none"> • Usadas em polias trapezoidais • Destinadas a distâncias mais curtas entre eixos • O efeito de cunha do perfil em forma de trapézio evita o escorregamento • Geralmente, fabricadas em comprimentos definidos e sem fim • Têm uma eficiência de 70% a 96% quanto à transmissão de energia
Dentada	<ul style="list-style-type: none"> • Usadas em polias dentadas • Destinadas a distâncias mais curtas entre eixos • Não necessitam de uma tensão inicial • Funcionam a altas velocidades • Não estão sujeitas ao escorregamento • Oferecem total sincronismo • São mais silenciosas que as correntes • Têm um custo elevado, tal como as respectivas polias • Têm uma eficiência de 97% a 99% quanto à transmissão de energia

3.2.3 Polias

As polias têm um papel importante nos sistemas, quer de transmissão, quer de transporte, pois são o elemento que faz a ligação do eixo do motor às correias. A sua elevada relevância deve-se ao facto de que, se estas não estiverem em perfeitas condições de funcionamento, têm um impacto significativo no sistema, desde o guiamento da correia até à deterioração da correia.

As polias podem ser planas, dentadas ou com perfis como as trapezoidais e as redondas.

As polias planas podem ser cilíndricas ou coroadas com o objetivo de centrar as correias. As polias coroadas são abordadas com maior profundidade no Subcapítulo 3.4.1 (Budynas & Nisbett, 2011).

Apesar de a função principal da polia ser transmitir a potência do eixo do motor para a correia, esta pode ser adaptada de forma a ter várias aplicações num sistema de transmissão, nomeadamente:

- Motora;
- Retorno;
- Abraçamento;
- Esticadora da correia.

As polias motoras são usadas para transmitir a potência do motor para a correia, sendo logicamente também responsáveis pelo esticamento da correia.

As polias de retorno recebem a potência através da força de atrito da correia e servem para o próprio retorno da correia.

As polias de abraçamento (Figura 24) têm três principais funções (Habasit AG, 2018):

- Aumentar o arco de contacto, o que provoca um aumento da transmissão de potência, reduz a tensão inicial necessária e reduz a carga no eixo;
- Reduzir a distância entre o lado de transporte e o lado de retorno, reduzindo assim a altura da instalação do transportador;
- Ajustar as correias no seu guiamento, sendo por vezes denominadas de polias guia.

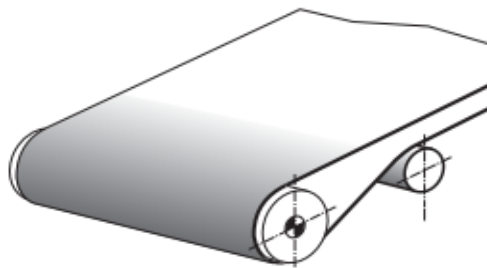


Figura 24 - Polia de abraçamento (Habasit AG, 2018)

Os esticadores de correia são responsáveis por fornecer e ajustar a força de tração necessária na correia para um bom funcionamento da transmissão. As mudanças das condições ambientais e de carga causam variações no comprimento da correia, levando também ao escorregamento, e, por esse motivo, é necessário ajustar a força de tração da correia.

Os esticadores podem ser ajustados manualmente ou automaticamente. Os esticadores manuais têm, naturalmente, um menor custo, contudo, não se adaptam às variações do comprimento da correia. Pelo contrário, os esticadores automáticos para além de se adaptarem a estas variações, permitem compensar as tolerâncias de fabrico das correias e das polias, prolongando assim o tempo de vida do sistema (Brito, 2014).

3.2.4 Outros componentes de um sistema de transporte leve

As correias e as polias não são os únicos elementos importantes num sistema de transporte. Toda a estrutura de suporte onde é montado o sistema, a base onde a correia desliza e os acoplamentos de montagem são alguns dos componentes que têm influência no sistema de transporte.

3.2.4.1 Estrutura de suporte

O tensionamento da correia, a variação do peso dos materiais transportados (sem carga, carga parcial ou carga total), pisos irregulares, entre outros, são fatores que implicam uma estrutura de suporte rígida, pois, caso contrário, não seria possível evitar muitos problemas como o mau guiamento da correia ou o escorregamento da mesma.

Para além de ser rígida, a estrutura de suporte (Habasit AG, 2018):

- Deve estar alinhada com precisão em todos os planos;
- Não deve interferir com nenhum componente transportado, nem com a correia;
- Deve permitir que a correia esteja visível em todo o seu percurso e que o acesso à mesma seja facilitado.

3.2.4.2 Base deslizante

Ter uma base deslizante para a correia (Figura 25) traz algumas vantagens sendo que a principal é conferir uma maior estabilidade da correia e, conseqüentemente, dos materiais transportados, sem ter uma interferência significativa no movimento lateral da correia, ao contrário dos rolos de transporte (Figura 26).

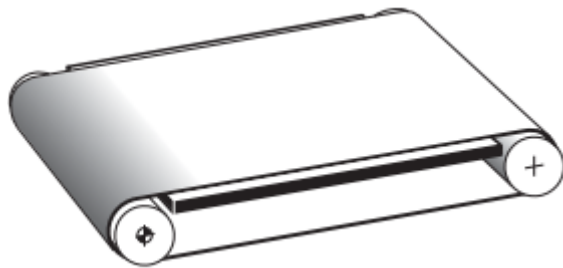


Figura 25 - Base deslizante (Habasit AG, 2018)

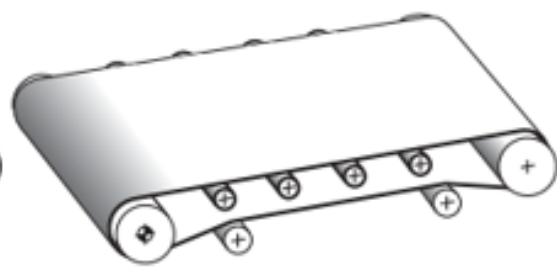


Figura 26 - Rolos de transporte (Habasit AG, 2018)

A base deslizante deve estar alinhada com precisão com a direção do percurso da correia e deve estar também precisamente nivelada para que não haja inclinação da correia.

A limpeza e manutenção da base deslizante é essencial pois, a humidade e a sujidade podem provocar atrito não desejado entre a base e a correia.

3.3 Falhas típicas no transporte de correias planas

A análise das falhas dos transportadores de correias em massa já foi exaustivamente feita, pois *“um transportador de correia é um dos tipos de transportadores mais utilizados devido à sua alta eficiência e velocidade de transporte, longas distâncias de transporte, baixo consumo de energia, segurança operacional e operações e manutenção simples”* (Andrejiova & Grincova, 2018) e, portanto, o estudo das falhas visa encontrar soluções de melhoria nestes sistemas de transporte.

Zimroz e Krol fizeram uma análise das falhas do transportador de correia, numa mina subterrânea, em (Zimroz & Krol, 2009), com o objetivo de tirar conclusões acerca da estratégia de manutenção a ser feita, enquanto que, Mathews, em (Mathews, 1995), estudou as causas das falhas da correia transportadora e fez uma análise FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) das mesmas, cujo objetivo era definir ações de forma a aumentar o tempo de vida da correia. Também Zhao e Lin, com base em pesquisas sobre as falhas típicas dos transportadores de correias, analisaram em (Zhao & Lin, 2011) as causas dessas falhas, e propuseram alguns métodos para solucionar os problemas e algumas medidas de manutenção.

Posteriormente, em (Fedorko et al., 2018), Fedorko *et al* usaram a tomografia industrial para identificar os defeitos na carcaça da correia transportadora, conseguindo identificar as fibras individualmente, perfurações e a separação de camadas. Em (Fedorko et al., 2019), Fedorko *et al* examinaram o comportamento interno da correia depois de um teste de tensão donde concluíram que quando a correia é submetida a uma tensão prolongada, observa-se o efeito de relaxamento da correia e podem ocorrer alterações na estrutura interna da correia.

Em (Hardygora, 2002), Hardygora conclui que *“os métodos experimentais fundamentais utilizados para avaliar a confiabilidade e a qualidade das correias transportadoras de borracha-têxtil incluem o monitoramento da resistência à perfuração da correia, resistência à fenda, teste de fadiga das correias e investigações das emendas da correia”* (Andrejiova & Grincova, 2018).

Outros estudos foram feitos e identificados por Andrejiova e Grincova, cujo objetivo do artigo (Andrejiova & Grincova, 2018) foi classificar os tipos de danos por impacto que ocorrem nas correias transportadoras de borracha e têxtil.

Em (Andrejiova, Grincova, & Marasova, 2016), é estudado o desgaste que as correias sofrem durante o período de armazenamento, de onde se conclui que fatores como a humidade, a radiação solar e altas temperaturas são prejudiciais para as correias, sendo que estas podem rachar à medida que a sua idade aumenta.

Apesar do transporte de correias em massa e do transporte de correias leve terem algumas falhas comuns, o transporte leve não é estudado com tanta abundância, sendo parte desse facto justificado pela fácil substituição das correias neste tipo de transporte e pelos custos de um possível rompimento da correia serem menores.

Domek *et al* testaram o impacto que a qualidade das polias dentadas tem na precisão do movimento da correia e perceberam que uma das principais causas dos problemas das transmissões de movimento eram erros de produção das polias e erros na instalação das mesmas (Domek, Kołodziej, Dudziak, & Woźniak, 2017).

A Optibelt, uma referência na produção de correias de transmissão, fez um manual para os seus clientes onde identificou as anomalias mais frequentes nas correias, as suas causas e possíveis resoluções e medidas de prevenção e manutenção (OPTIBELT, n.d.).

Embora exista uma considerável quantidade de diferentes anomalias, os dois principais problemas dos sistemas de transporte de correias planas são o escorregamento da correia e o seu guiamento incorreto.

No Subcapítulo 3.1.1, o fenómeno do escorregamento foi já identificado, sendo que é necessário um tensionamento preciso da correia para o evitar. Além dessa precisão na instalação da correia, é necessário monitorizar o desgaste dos elementos do sistema de transporte.

Tendo em conta que o guiamento incorreto da correia foi a causa que motivou este estudo, de seguida, este fenómeno vai ser abordado detalhadamente.

3.3.1 Movimento lateral da correia plana

O transporte conduzido por polias cilíndricas não tem nenhum efeito de guiamento nas correias, o que leva a que estas sejam conduzidas de forma instável. Por esse motivo, vários estudos acerca do movimento lateral da correia foram feitos.

Egger e Hoffmann, dedicaram-se ao estudo do movimento lateral da correia durante vários anos, pois perceberam que a orientação correta da correia é de grande importância nas operações de transporte. Em (Hoffmann & Egger, 2001), revelam que problemas como geometria incorreta, distribuição desigual da carga ou a emenda da correia causam movimento lateral na correia, e que o comportamento da correia depende em grande parte da deformação da correia no ponto em que esta encontra a polia.

Mais tarde, em (Egger & Hoffmann, 2012), estudaram o efeito do deslocamento angular da polia no plano horizontal (Figura 27) e no plano vertical (Figura 28). O primeiro método consiste na condução da correia por uma polia cilíndrica em que o seu eixo de rotação está desviado angularmente no plano paralelo ao plano da correia, e o segundo consiste no deslocamento angular da polia no plano vertical, ou seja, o eixo da polia permanece perpendicular ao eixo central da instalação, mas a polia é desviada angularmente no plano perpendicular ao plano da correia.

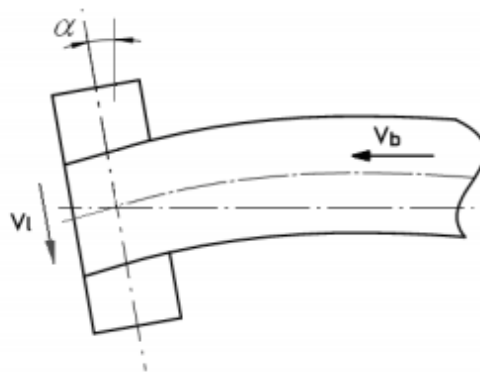


Figura 27 - Deslocamento angular da polia no plano horizontal (Egger & Hoffmann, 2012)

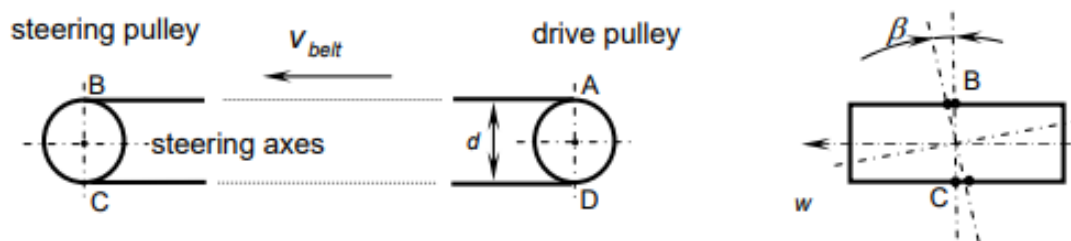


Figura 28 - Deslocamento angular da polia no plano vertical (Egger & Hoffmann, 2012)

Em (Hoffmann, 2003) e em (Hoffmann & Egger, 2007), estudaram a influência da polia cônica (Figura 29) que faz com que a correia se movimente em direção ao seu maior diâmetro, de forma a reduzir os esforços no seu interior. Estes estudos visam uma polia coroada (Figura 30), onde o centro da polia se apresenta com o maior diâmetro, mantendo assim a correia centrada.

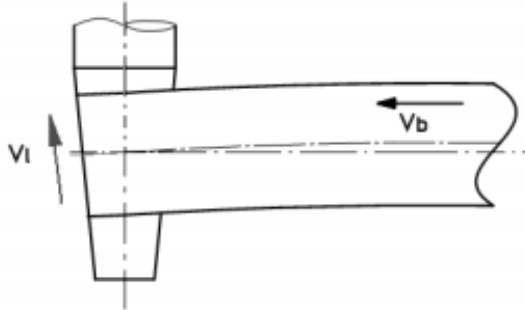


Figura 29 - Polia cônica (Egger & Hoffmann, 2012)



Figura 30 - Polia coroada (Beltech, 2007)

Os resultados obtidos em (Hoffmann, 2003) preveem o desvio da correia transportadora, com determinadas configurações, e permitem também avaliar a influência de certos parâmetros geométricos e mecânicos relacionados com comportamento do movimento lateral da correia.

Fenglin *et al* estudaram também o movimento lateral das correias planas, em (Han, He, Yan, & Xiong, 2017), e concluíram que as principais características do movimento lateral da correia são:

- Quando os eixos das polias não são paralelos no plano horizontal, a correia tende a mover-se para o lado onde a distância central é menor;
- O movimento lateral é dividido numa fase transitória, que dura um curto período de tempo e onde as velocidades laterais da correia são diferentes em diferentes posições, e numa fase estável, onde as velocidades laterais da correia tendem a ser coincidentes em diferentes posições;
- A velocidade lateral constante da correia é proporcional ao ângulo de inclinação da polia (α) e à velocidade da correia, e aumenta com o aumento da distância central, o aumento da tensão da correia, a diminuição do diâmetro das polias e a diminuição da rigidez à flexão da correia.

3.3.1.1 Causas do movimento lateral

As correias transportadoras são frequentemente responsabilizadas pelas paragens provenientes do seu rebentamento ou mau funcionamento, contudo, em grande parte dos casos, isso é injustificado, pois geralmente a origem do problema encontra-se na própria instalação. O movimento lateral pode ser proveniente de várias causas proveniente dos diferentes elementos do sistema de transporte (Beltech, 2007).

Causas relacionadas com a correia:

- Defeitos de fabrico como diferenças de comprimento ao longo da largura, diferenças de espessura ao longo da largura;
- Desgaste diferente ao longo da largura;
- Emenda da correia é zona mais frágil e suscetível a falhas e desgaste.

Causas relacionado com as polias:

- Falta de paralelismo das duas polias;
- Desfasamento horizontal, vertical ou angular das duas polias;
- Defeitos de fabrico como diferenças de diâmetro ao longo da largura;
- Coeficiente de atrito diferente ao longo da largura;
- Desgaste diferente ao longo da largura.

Causas relacionado com o produto transportado:

- Carga assimétrica;
- Carregamento/descarregamento descentrado.

Outras causas:

- Tensão aplicada à correia muito baixa;
- Instabilidade da estrutura de suporte;
- Base deslizante não ser plana ou ter diferenças de humidade da superfície.

3.3.1.2 Vantagens do guiamento da correia

Ter um sistema de guiamento das correias e evitar o movimento lateral das mesmas traz grandes vantagens para o sistema de transporte, tais como (Beltech, 2007):

- Evitar desgastes irreparáveis na correia, reduzindo os custos do material;
- Diminuição das intervenções para manutenção e substituição de elementos, diminuindo o número de paragens e o tempo de não produtividade;
- Evitar estragos na instalação;
- Evitar estragos na carga transportada.

3.4 Sistemas de guiamento

Como grande parte das causas são muito difíceis de prever e até mesmo difíceis de observar e descobrir, a solução para o movimento lateral passa por criar sistemas de guiamento que permitam manter a correia centrada no seu percurso. De forma a obter uma operação de longa duração e justificar o valor total dos equipamentos, a técnica de guiamento correto da correia desempenha um papel muito importante nos sistemas de transporte.

No que diz respeito ao guiamento da correia, existem medidas básicas, que são apropriadas quando não existem grandes influências externas sobre a correia, como forças transversais, e medidas adicionais, que são necessárias quando as medidas básicas, por si só, são insuficientes ou inadequadas para garantir o guiamento da correia.

Independentemente de quais medidas usadas, existem condições que são essenciais para o guiamento da correia, tais como (Habasit AG, 2018):

- A estrutura de suporte deve ser rígida, estável e capaz de suportar as forças que atuam sobre ela como a tensão da correia e o peso da carga;
- Todas as polias e rolos devem ser instalados em ângulo reto com o eixo do curso da correia. As polias e os rolos ajustáveis devem ser ajustados apenas depois de a correia ser colocada corretamente;
- Todas as partes da instalação que entram em contato com a correia devem ser protegidas contra a sujidade e ser limpas, se necessário.

As principais medidas de guiamento são apresentadas de seguida (Brito, 2014; Habasit AG, 2018; Swinderman, Marti, Goldbeck, Marshall, & Strebel, 2009):

- Polias coroadas ou com extremidades cônicas;

As polias coroadas (Figura 31) ou com extremidades cônicas (Figura 32) são uma medida básica que permite a centragem da correia, pois a correia tende a mover-se para a zona da correia onde o diâmetro é maior de forma a minimizar a tensão que esta sofre, ou seja, tende a mover-se para o centro da polia. Esta medida vai ser abordada com mais profundidade no Subcapítulo 3.4.1.



Figura 31 - Polia coroadada (Beltech, 2007)



Figura 32 - Polia com extremidades cônicas (Habasit AG, 2018)

- Deslocamento angular da polia no plano horizontal;

Tal como foi estudado por Egger e Hoffmann em (Egger & Hoffmann, 2012), à medida que a correia se desloca lateralmente do centro do seu curso, ao entrar em contacto com a polia inclinada, sofre tensões maiores do lado para o qual se está a deslocar e, por isso, tende a mover-se para o outro e, assim, a centrar-se (Figura 33).

Contudo, é um sistema que precisa de estar extremamente bem dimensionado no que diz respeito ao ângulo de inclinação da polia, de acordo com o deslocamento que a correia está a sofrer, e que pode estar em constante mudança devido ao desgaste dos elementos do sistema.

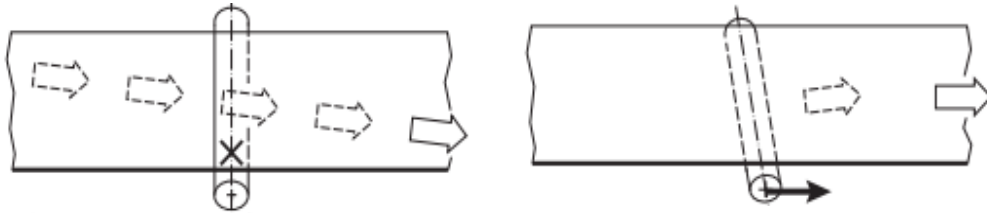


Figura 33 - Efeito do deslocamento angular da polia no plano horizontal (Habasit AG, 2018)

- Perfis guia;

Os perfis guia são geralmente em forma de “V” (Figura 34 e Figura 35), soldados ou colados no lado interior da correia. Devido ao custo de produção relativamente alto, às restrições de velocidades altas e à sua eficiência limitada, os perfis guia não são recomendados como uma medida básica de guiamento. Os perfis guias são adequados apenas para zonas da instalação onde ocorrem forças transversais.



Figura 34 - Instalação com perfil guia (Habasit AG, 2018)

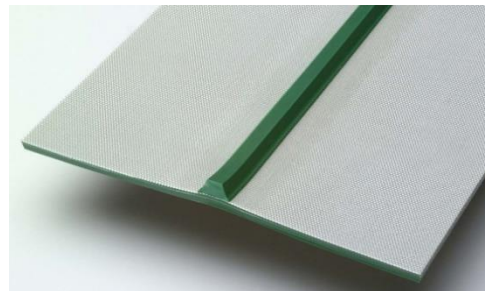


Figura 35 - Correia com perfil guia (Sparks Belting, n.d.)

- Rolos condutores em “V”;

Os rolos condutores em “V” (Figura 36 e Figura 37) são geralmente utilizados no transporte em massa sendo responsáveis por centrar a correia no seu percurso e, também por garantir que o material transportado se mantém sobre a correia.



Figura 37 - Rolos condutores em “V” - Adaptado de (Swinderman, Marti, Goldbeck, Marshall, & Strebel, 2009)



Figura 36 - Sistema de transporte em massa com rolos condutores em “V” (Modern Quarrying, n.d.)

- Rolos inclinados no retorno da correia;

Estes rolos são utilizados no lado de retorno da correia com um determinado ângulo, podendo ser posicionados sobre ou sob a correia, conferindo efeitos de guiamento diferentes na mesma. São geralmente utilizados no transporte em massa.

Se os rolos forem posicionados sob a correia (Figura 39), entrando assim em contacto com a sua superfície de transporte, o efeito do guiamento é maior, pois existe um maior coeficiente de atrito. Contudo, a correia pode ter um lado de transporte mais frágil ou com perfis montados, sendo assim os rolos posicionados sobre a correia (Figura 38).

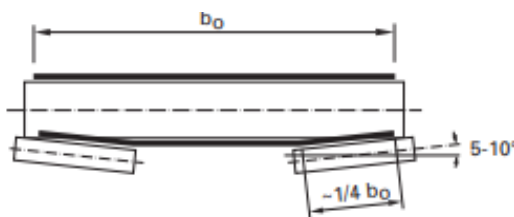


Figura 39 - Rolos inclinados sob a correia (Habasit AG, 2018)

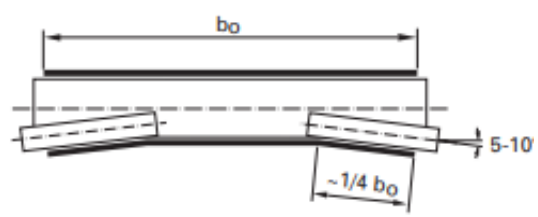


Figura 38 - Rolos inclinados sobre a correia (Habasit AG, 2018)

- Rolos guia laterais;

Os rolos guia laterais (Figura 40) só se aplicam a correias com elevada rigidez transversal e são utilizados como uma medida adicional, geralmente no transporte em massa.

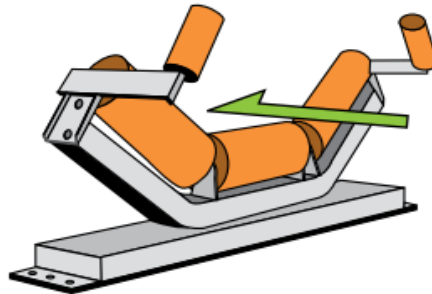


Figura 40 - Rolos guia laterais ((Brito, 2014; Habasit AG, 2018; Swinderman et al., 2009)

- Tiras guia laterais;

As tiras guia laterais (Figura 41) são também apenas aplicadas em correias com elevada rigidez transversal, tal como os rolos laterais. São mais adequadas para transportes relativamente limpos, pois, em caso contrário, os detritos podem ficar entre a correia e a tira, causando assim estragos significativos e outros problemas no seu desempenho.

Por estes motivos, são geralmente utilizadas como uma medida adicional e temporária

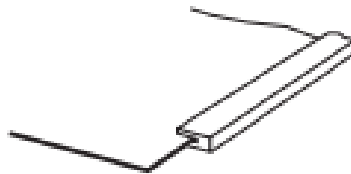


Figura 41 - Tira guia lateral (Habasit AG, 2018)

- Controlo automático da correia;

O controlo automático da correia (Figura 42) é um sistema altamente eficaz no guiamento da correia. Contudo, trata-se de uma medida relativamente dispendiosa e, por esse motivo, só se aplica quando o comportamento da correia é muito crítico e as outras medidas de guiamento não são eficazes, e o investimento do sistema é compensatório quando comparado com os possíveis custos que o descentramento da correia iria provocar.

Por estes motivos, são apenas usados em transportes em massa, de longas distâncias, e cujo produto transportado é extremamente valioso, sendo que o seu desperdício traz altos custos.

O controlo automático da correia deteta as margens da correia, por meio de sensores sem contato ou por meios mecânicos, o sinal é enviado para um mecanismo de controlo, que aciona uma polia guia de forma a centralizar a correia com precisão.

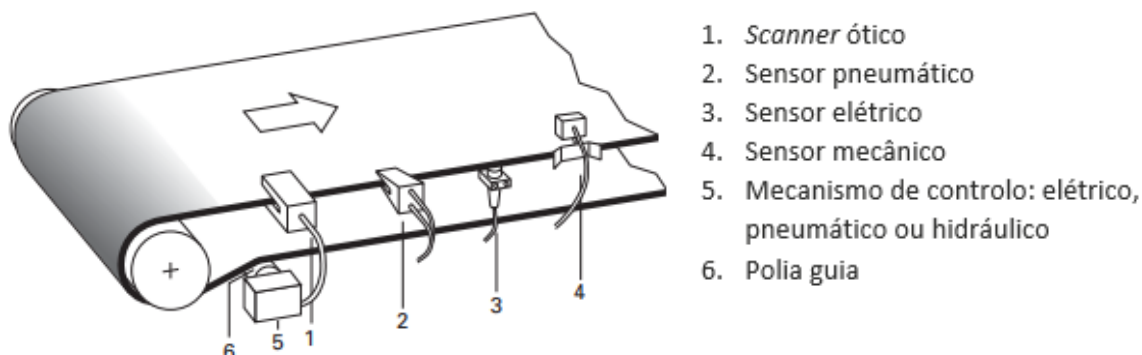


Figura 42 - Sistema de controlo automático da correia – Adaptado de (Habasit AG, 2018)

Na Tabela 5, encontra-se um quadro resumo com os sistemas de guiamento abordados e condições de aplicação:

Tabela 5 - Quadro resumo dos sistemas de guiamento - Adaptado de (Habasit AG, 2018)

<p>X → Bem Aplicado (X) → Aplicável sobre observação dentro de limitações específicas / → Não recomendado</p> <p>Sistema de guiamento</p>	Medidas básicas	Medidas adicionais	Para operações inversas	Para forças transversais locais	Para correias pequenas e largas	Para transporte em massa	Para transporte leve
	Polia coroadas ou com extremidades cônicas	X	X	X	/	(X)	X
Deslocamento angular da polia no plano horizontal	/	X	/	/	/	X	/
Perfis guia	/	X	X	X	X	X	(X)
Rolos condutores em "V"	(X)	/	(X)	/	(X)	X	/
Rolos inclinados no retorno da correia	/	X	(X)	/	X	X	(X)
Rolos guia laterais	/	X	/	/	/	X	/
Tiras guia laterais	/	X	X	(X)	/	X	/
Controlo automático da correia	(X)	X	(X)	/	/	X	X

3.4.1 Polias coroadas ou com extremidade cônica

“As polias cilíndricas com extremidades cônicas são amplamente utilizadas para centrar o percurso da correia, se a distância entre as polias for relativamente curta” (Hoffmann, 2003).

Sendo esta a medida de guiamento mais utilizada, mais eficiente e que se revela como a melhor solução para o problema que motivou este estudo, vai ser abordada de seguida com maior profundidade.

As polias coroadas, inspiradas na forma das coroas, são projetadas para centrar as correias na polia e, conseqüentemente, no seu percurso. Existem várias abordagens para o *design* deste tipo de polias coroadas (Figura 43), mas todas elas têm o mesmo princípio: o centro da polia tem um diâmetro maior que as suas extremidades.



Figura 43 - Diferentes *design's* das polias coroadas – Adaptado de (Sparks Belting, n.d.-a)

Uma polia coroadada exerce forças de centragem na correia de duas formas.

A primeira está associada ao fenómeno de a correia se mover na direção do primeiro contacto com a polia (Figura 45). Se se considerar a polia coroadada dividida em duas metades, cada metade com um ponto alto no seu centro (Figura 44), verifica-se que a metade esquerda da correia fará um esforço para se mover na direção do primeiro contacto (à direita do sistema). Ao mesmo tempo, a metade direita da correia fará um esforço para se mover na direção em que entrou em contacto pela primeira vez (à esquerda do sistema). Esses esforços irão exercer forças na correia até que as mesmas se equilibrem e centralizem a correia na polia (Bowen & Knable, 2003).

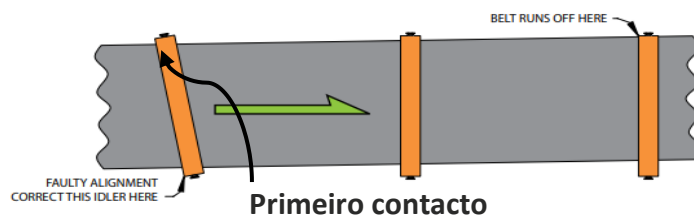


Figura 45 - Exemplo do fenómeno do primeiro contacto – Adaptado de (Brito, 2014; Habasit AG, 2018; Swinderman et al., 2009)



Figura 44- Polia coroadada dividida – Adaptado de (Beltech, 2007)

A outra forma de centragem das polias coroadas deve-se à diferença de tensões internas na correia ao longo da sua largura. Os fabricantes projetam as correias planas com tensão igual em toda a sua largura, contudo, as polias coroadas criam uma maior área de contacto no centro da polia. Se a correia se mover para o lado na polia, esse movimento cria desequilíbrio nas tensões internas da correia, o que faz com que esta se mova na polia para igualar as tensões e alcançar o equilíbrio, centrando assim a correia no sistema de transporte (Bowen & Knable, 2003; Egger & Hoffmann, 2012).

A forma coroadada ou cônica é normalmente usada na polia motriz, contudo, também pode ser usada nas polias de retorno (Egger & Hoffmann, 2012).

A solução das polias cilíndricas com extremidades cônicas deve-se ao facto de o fabrico das polias em forma de coroa ser complexo e com um custo mais elevado (Brito, 2014).

“A altura da coroa, h , (Figura 46) para além de depender do diâmetro da polia, depende também da flexibilidade da correia e do atrito existente entre a correia e a polia” (Brito, 2014).

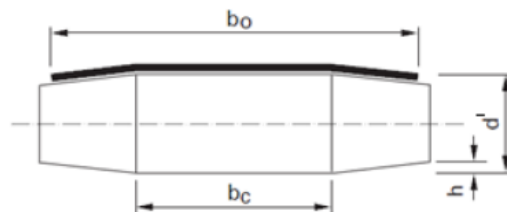


Figura 46 - Altura da coroa, h (Habasit AG, 2018)

DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

- 4.1 Solução proposta
- 4.2 Projeto de instalação
- 4.3 Análise de custos

4 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Primeiramente, neste capítulo é apresentada a solução proposta e é descrito o projeto de instalação desde o sistema de transporte anterior até ao novo.

Posteriormente, é apresentado o orçamento para a implementação do novo sistema e é feita uma comparação dos custos atuais com os possíveis custos no futuro, tendo também em conta o investimento necessário para a instalação do novo sistema e o impacto que este poderá ter na produção.

4.1 Solução proposta

A grande vantagem das correias dentadas é garantir um sincronismo de elevada precisão das várias correias da secção, contudo verificou-se que esta elevada precisão não era um fator necessário naquela que era principal função do sistema de transporte, isto porque as placas, no final do seu percurso, têm sempre batentes (como representado na Figura 47) que as posicionam corretamente para a próxima operação. Assim, se as placas forem transportadas com um ligeiro desvio (como representado na Figura 48), não irá representar um problema para o processo desde que o desvio não seja demasiado elevado e provoque o encravamento das placas nalgum outro elemento da linha.

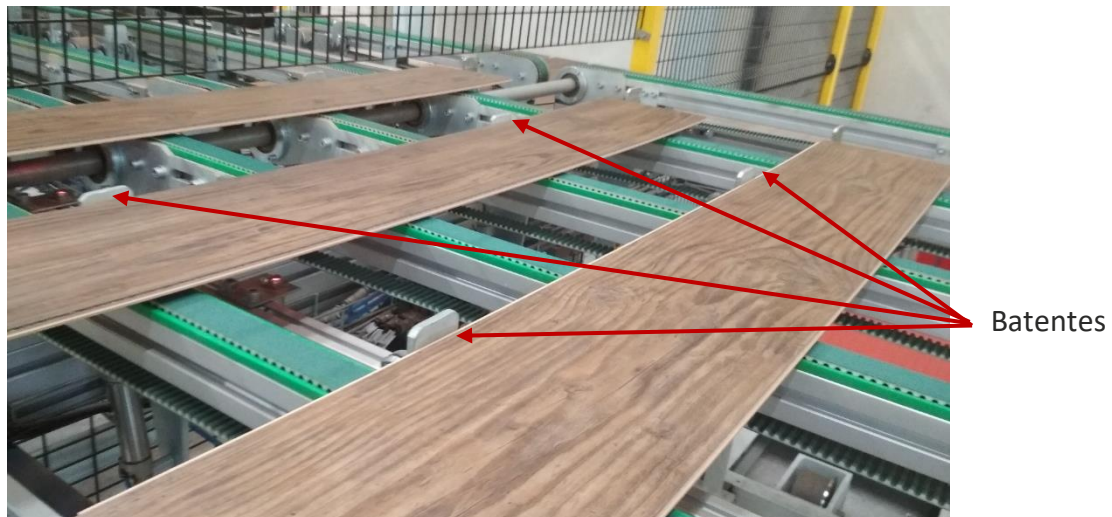


Figura 47 - Representação de um exemplo dos batentes das placas



Figura 48 - Representação de um exemplo das placas ligeiramente desposicionadas

Tendo em conta que o custo das correias dentadas é, aproximadamente, três vezes maior que o custo das correias planas, e que, como foi referido no Subcapítulo 3.2.2, as correias planas podem ser usadas lado a lado para transporte e apresentam uma elevada eficiência, o primeiro pressuposto assumido para a nova solução foi a utilização de correias planas sem fim. Apesar das correias com junta permitirem uma substituição mais rápida, foi decidido usar correias sem fim devido ao facto de a zona da junta ser a zona mais propícia ao desgaste e ao início do rebentamento das mesmas.

Se as correias dentadas eram, de certa forma, limitadas pelos seus dentes e, mesmo assim, se descentravam facilmente, então as correias planas irão sofrer um descentramento ainda mais rápido. Assim, será necessário um sistema de guiamento eficiente capaz de corrigir rapidamente o movimento lateral da correia.

Depois de analisar todos os sistemas de guiamento estudados e apresentados no Subcapítulo 3.4, verificou-se que o uso de polias cilíndricas com extremidades cônicas seria a medida que se revela como a melhor solução pois é bastante utilizada, é a mais eficiente para sistemas de transporte leve, não é dispendiosa e a sua adaptação às linhas da fábrica não apresenta grandes obstáculos.

De forma a utilizar este sistema de guiamento foi decidido aumentar a largura das correias e das polias para, aproximadamente, o triplo, de forma a dar uma maior estabilidade ao material transportado e facilitar o guiamento da correia pois, quanto maior for a largura da correia, maior a área de contacto com a polia e mais fácil é centrá-la.

Associado ao aumento da largura, foi também decidido aumentar o intervalo entre as extremidades da correia e da polia de forma a dar uma maior margem para o sistema de guiamento atuar e corrigir o movimento da correia na polia e no seu percurso.

4.2 Projeto de instalação

De forma a testar a solução, foi feito o projeto da instalação deste sistema de transporte para a secção mais problemática da linha CFE5, denominada secção do virador de placas. Das 44 horas de paragem provocadas pelas correias nos primeiros nove meses do ano de 2019, 15 horas foram provocadas por esta secção.

Nesta secção são transportadas até oito placas com uma massa máxima de 3,5 kg e a velocidade máxima da linha nesta secção é 40 m/min (0,67 m/s). Na Figura 49 e na Figura 50 encontra-se uma representação da disposição das correias no sistema anterior, sendo que as correias que vão ser substituídas são as vermelhas, e também os comprimentos das placas que são transportadas nesta secção.

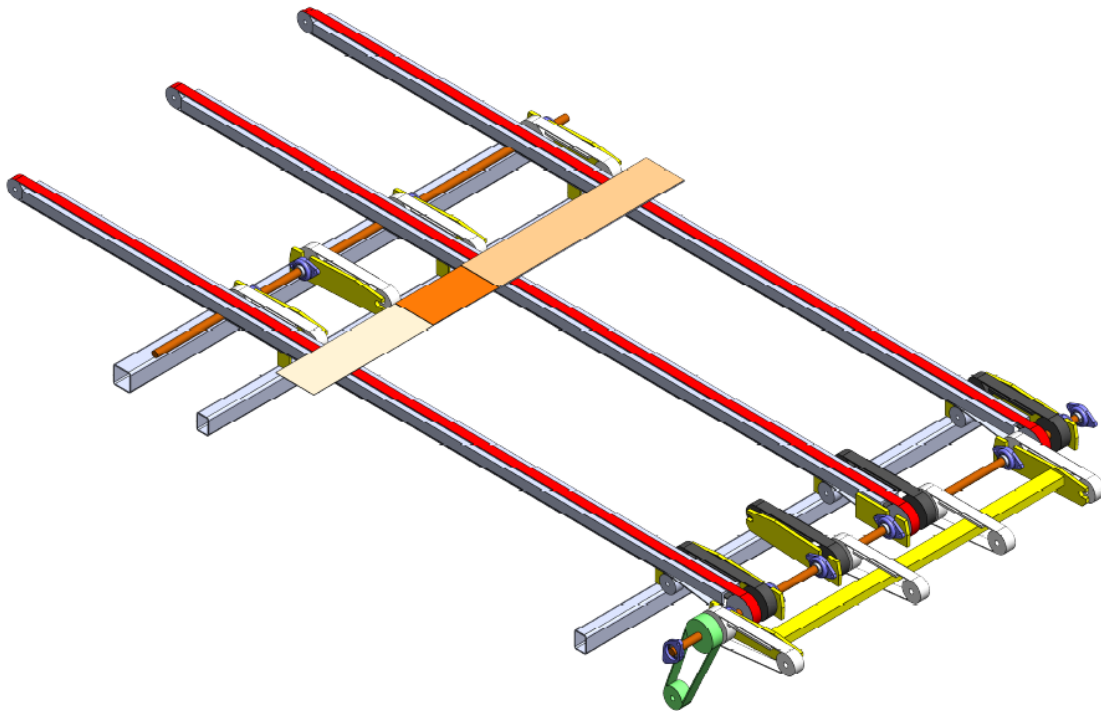


Figura 49 - Vista isométrica da representação da disposição das correias no sistema anterior

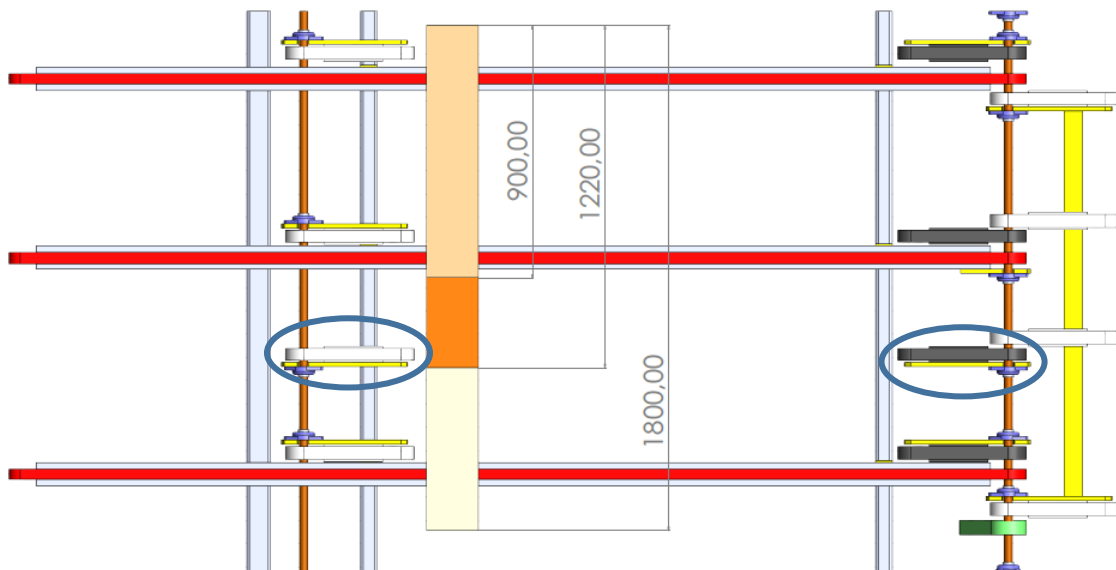


Figura 50 - Vista de topo da representação da disposição das correias no sistema anterior

Para a implementação do novo sistema foi necessário redefinir o posicionamento de todas as correias e polias, de forma a que continuassem a cumprir as suas funções

Dado o aumento de largura das polias e correias do novo sistema e, de forma a ganhar espaço, foi decidido eliminar as duas correias (rodeadas a azul na Figura 50) que funcionam apenas para ajudar as placas de 1800 mm a subir e a descer para o virador de placas. (O sistema do virador de placas não se encontra representado nas modelações acima, apenas é visível na Figura 59). Para a tomada desta decisão, foi assumido que as duas correias que fazem subir as placas de 1220 mm são suficientes para fazer subir as de 1800 mm e foi também tido em conta que a empresa tem o objetivo de no futuro deixar de produzir placas de 1800 mm.

Posto isto, na Figura 51 encontra-se a disposição das correias no novo sistema de transporte:

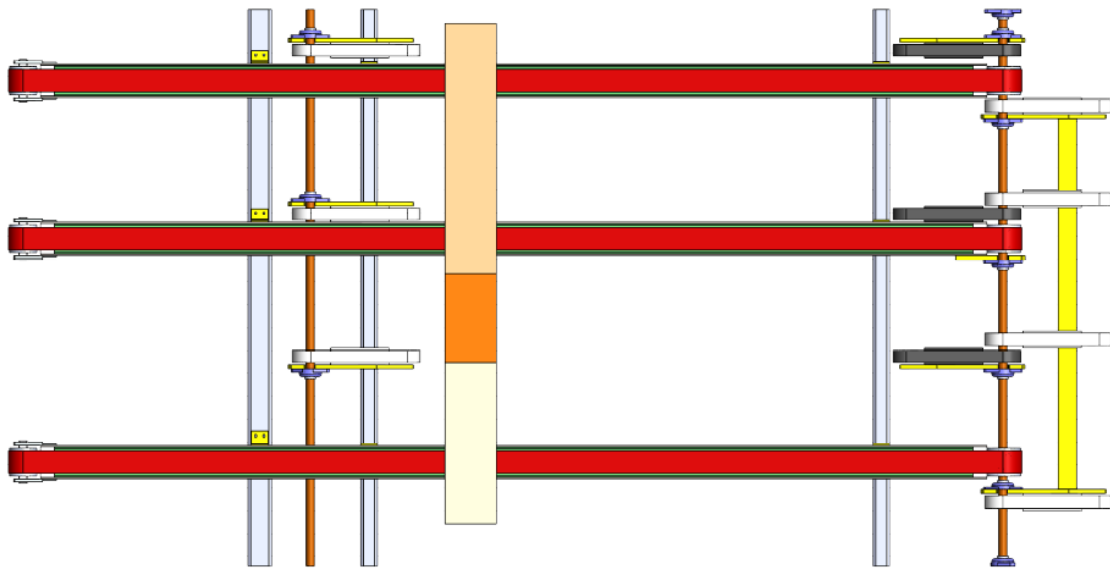


Figura 51 - Vista de topo da representação da disposição das correias no novo sistema

Para a implementação do novo sistema, será necessário fazer vários ajustes no posicionamento de outros elementos da linha, como por exemplo, o posicionamento dos cilindros pneumáticos, cortar as emendas de algumas estruturas de suporte para colocá-las noutros pontos e cortar o tubo retangular representado a amarelo na Figura 51, devido ao reposicionamento das polias.

Assim, neste capítulo encontra-se descrito o sistema anterior, assim como o novo, desde os novos elementos, passando pelos elementos a manter, até às adaptações feitas.

4.2.1 Sistema anterior

Como já foi referido anteriormente, a empresa utiliza um sistema de transporte leve com correias dentadas e, obviamente, polias dentadas também, como representado na Figura 8, na Figura 47 e na Figura 48. Na secção do virador de placas são utilizadas três correias.

4.2.1.1 Correias

As características mais relevantes para o projeto das correias utilizadas na secção do virador de placas encontram-se na Tabela 6:

Tabela 6 - Características mais relevantes das correias utilizadas na secção do virador de planas

Comprimento	7340 mm
Largura	32 mm
Material da correia	Poliuretano com cordões de aço
Material do revestimento	Borracha natural vermelha
Espessura do revestimento	1,6 mm
Junta	Dedos com pinos (Figura 52)



Figura 52 - Representação da junta: dedos com pinos (Beltech, n.d.)

4.2.1.2 Polias

As características mais relevantes das polias utilizadas na secção do virador de placas encontram-se na Tabela 7:

Tabela 7 - Características mais relevantes das polias utilizadas na secção do virador de planas

Diâmetro primitivo	130 mm
Largura	34 mm
Diâmetro interno para o anel de fixação/rolamento	55 mm
Material	Aço St
Massa	2,766 kg

4.2.1.3 Acoplamento da polia motora ao veio

O veio utilizado tem um diâmetro de 30 mm. O acoplamento do veio com a polia motora é feito através de um anel de fixação (Figura 53), como representado na Figura 54:

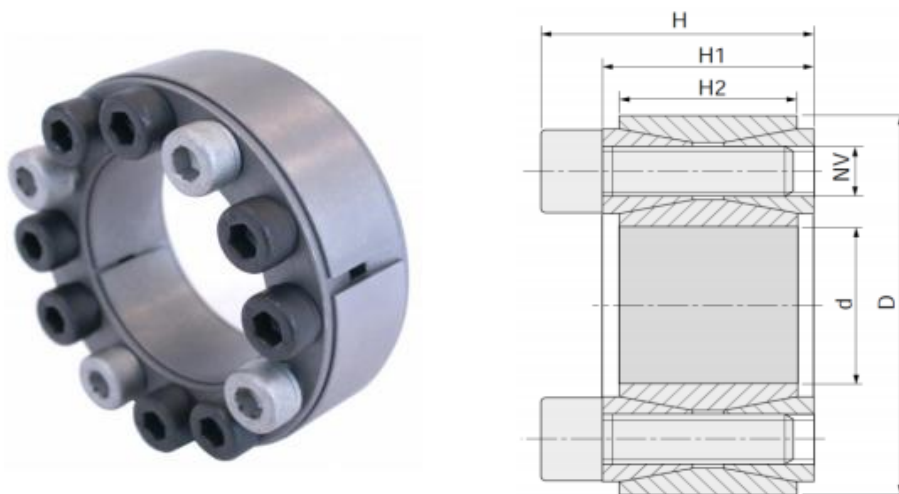


Figura 53 - Anel de fixação – Série KLGG (PTI, n.d.)

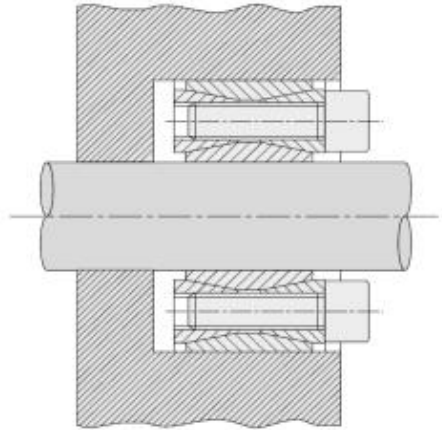


Figura 54 - Acoplamento do anel de fixação à polia motora e ao veio (PTI, n.d.)

Usado geralmente para veios de pequena dimensão, o anel de fixação substitui a utilização da chaveta e apresenta vantagens como a eliminação total da folga entre o veio e a polia e como a distribuição das cargas ao longo de todo o perímetro e não numa só zona, como é o caso da chaveta, diminuindo assim o desgaste e prolongando o tempo de vida do acoplamento. Apresenta também uma fácil e rápida montagem e desmontagem., reduzindo assim os custos de manutenção. (PTI, n.d.-b; Ring Feder, 2019)

A ficha técnica do anel de fixação utilizado encontra-se no Anexo 1, sendo que a sua referência é KLGG030.

4.2.1.4 Acoplamento da polia de retorno ao veio

O acoplamento do veio com a polia de retorno é feito através de dois rolamentos de esferas, fixos por um anel elástico interno cada um, como representado na Figura 55:

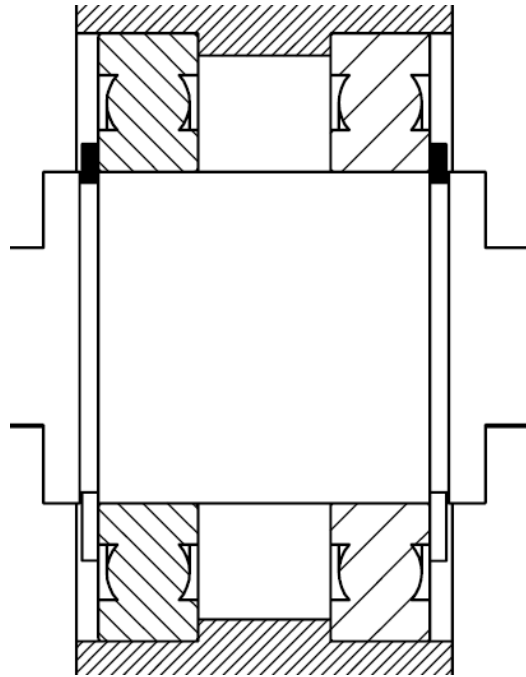


Figura 55 - Acoplamento dos rolamentos à polia de retorno e ao veio

A ficha técnica dos rolamentos utilizados encontra-se no Anexo 2.

4.2.1.5 Esticador da correia

O esticamento da correia, de forma a fornecer a força de tração necessária para o funcionamento da mesma, é feito através de um parafuso, que é roscado no veio, e de um batente na parte final do parafuso, como representado na Figura 56. Depois de definida a posição do veio e apertado o parafuso, o parafuso é fixo por uma porca para evitar que este desaperte ao longo do funcionamento.



Figura 56 - Esticador da correia na polia de retorno

4.2.1.6 Apoios do veio

O veio desta secção, para além de mover as três polias das três correias referidas até agora (correias vermelhas na Figura 57 e na Figura 58), têm a função de mover mais oito polias que movem oito correias de menores dimensões (correias pretas e brancas na Figura 58), como representado na Figura 57 e na Figura 58:

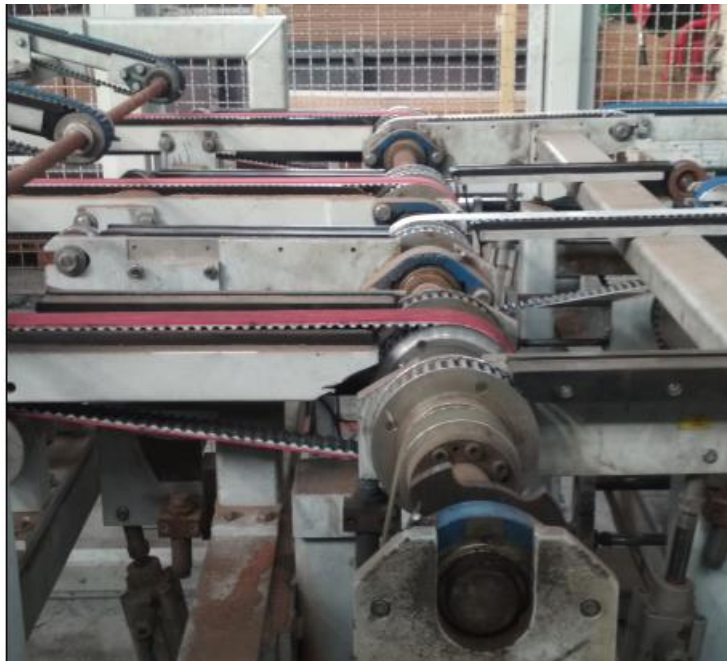


Figura 57 - Veio motor com as respetivas polias e apoios

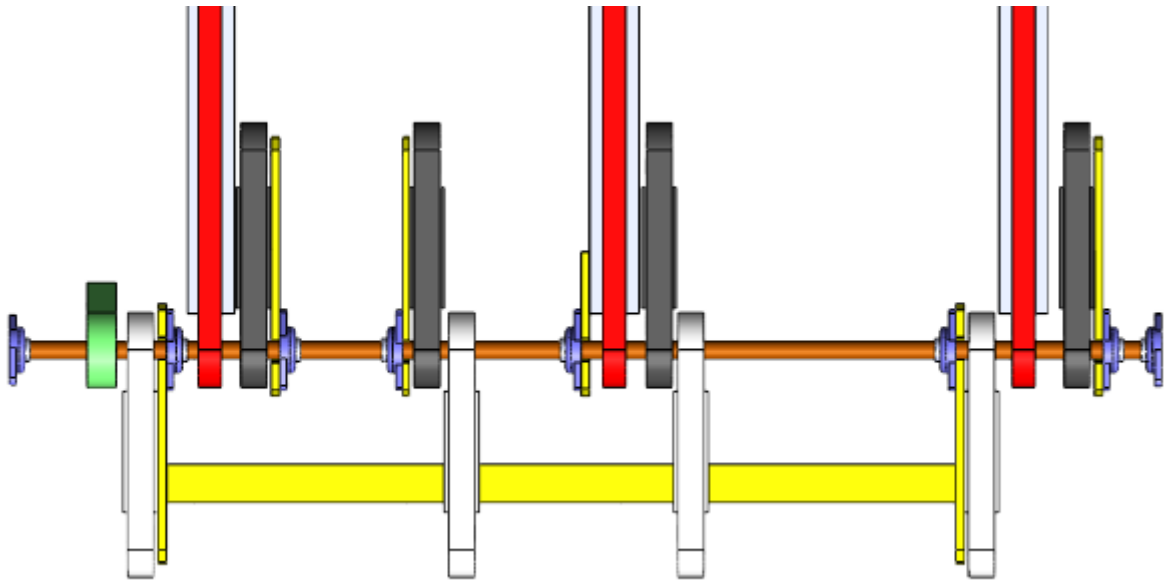


Figura 58 - Representação do veio motor com as respetivas polias e apoios (representados a azul)

Esta secção torna-se um pouco complexa por ser uma secção onde existe uma viragem intercalada das placas de forma à última placa de uma caixa de placas ficar virada para baixo (Figura 59). Dado o número total de 11 polias neste veio, este é suportado por oito apoios.



Figura 59 - Sistema de virar placas

Os apoios do veio são constituídos pelo conjunto de uma chumaceira de forma oval com um rolamento do tipo Y, constituído por um anel externo cilíndrico e fixo ao veio através de um anel tensor excêntrico com um parafuso sem cabeça, como representado na Figura 60, cujas especificações do conjunto se encontram no Anexo 3.

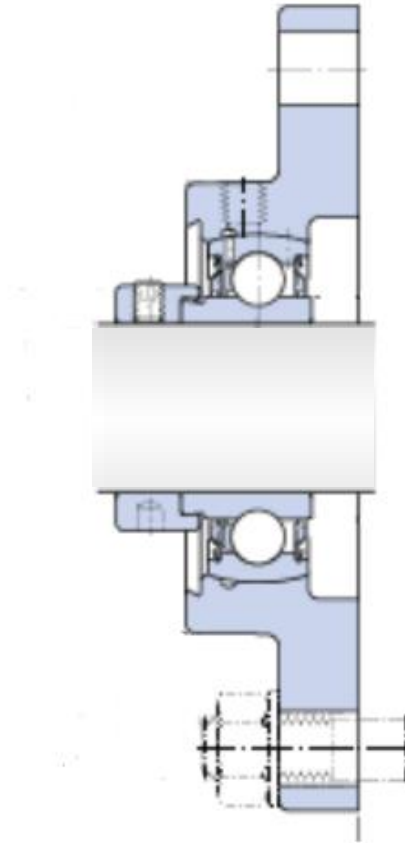


Figura 60 - Unidade flangeada oval com rolamento Y (SKF, n.d.)

4.2.1.7 Base deslizante

A base deslizante da correia tem a forma de “U” para guiar a correia no seu percurso quando esta está descentrada, tendo assim a mesma largura que as polias. O material da base deslizante é PE1000 (Polietileno 1000), um termoplástico autolubrificante que oferece excelente resistência à abrasão, ao impacto e ao desgaste. O PE1000 apresenta bom desempenho contra produtos químicos e solventes e possui um dos menores coeficientes de atrito de qualquer plástico de engenharia, sendo esta uma característica fundamental naquela que é a sua função neste sistema: permitir que a correia deslize (PAR Group, n.d.).

4.2.1.8 Estrutura de suporte

A estrutura de suporte de todo o sistema é à base de tubos estruturais retangulares, em aço S355 J2 H, soldados entre si. As ligações entre os tubos e as estruturas de suporte das chumaceiras e as estruturas que suportam as bases deslizantes são feitas por chapas soldadas aos tubos e aparafusadas às estruturas, como representado na Figura 61, ou por cantoneiras.



Figura 61 - Chapas de ligação dos tubos às estruturas

4.2.1.9 Motorização

A motorização responsável pela rotação do veio é feita por um motor redutor da SEW-EURODRIVE, com uma potência de saída de 370 W e uma velocidade angular máxima de 1400 rpm. Esta rotação é transmitida através de uma correia plana e de uma polia com anel de fixação. As características do motor trifásico utilizado encontram-se no Anexo 4, sendo que a sua referência é DT71D4/MM03.

4.2.2 Elementos a manter

Existem alguns elementos cujas características permitem continuar a desempenhar a sua função no novo sistema de transporte. Sendo assim, pensando numa possível futura instalação em toda a fábrica, de forma a reduzir o investimento e a complexidade da instalação, foi decidido aproveitar alguns desses elementos, sendo que, nalguns foi feita uma adaptação para o novo sistema.

Os elementos que se mantiveram exatamente iguais no novo sistema de transporte foram o sistema de motorização, grande parte da estrutura de suporte (mudando apenas as estruturas de suporte das bases deslizantes), o veio motor e os seus apoios.

O aumento de massa foi de apenas 1,809 kg (0,203 kg por polia mais 0,400 kg por anel de fixação adicional), representando assim uma carga radial de apenas 18 N. Dado que as cargas máximas dos rolamentos são da ordem dos kN, a hipótese de uma nova seleção dos rolamentos usados para os apoios do veio foi desprezada.

4.2.3 Novos elementos e adaptações

As duas principais mudanças foram logicamente as polias e as correias utilizadas. Contudo, outros elementos e soluções mecânicas tiveram de ser alterados devido às maiores dimensões destes dois elementos.

4.2.3.1 Polias

O primeiro elemento projetado foi a polia, sendo que, para o desenho desta, estava previamente definido aumentar consideravelmente a sua largura, de forma a conferir-lhe as extremidades cônicas. Pelo contrário, de forma a usar o mesmo veio, a solução dos anéis de fixação e a mesma motorização, era importante não exagerar no aumento do seu diâmetro para a massa da polia não se tornar também um problema (apesar de quanto maior for diâmetro da polia, maior ser o tempo de vida da correia).

Tendo em conta o pressuposto de aumentar as dimensões da polia sem que a massa da polia aumentasse excessivamente, foi decidido fabricar as polias em alumínio, pois é um material que possui uma massa volúmica aproximadamente três vezes menor que a dos aços, de difícil deformação, com elevada resistência mecânica, à corrosão e ao impacto e que possui também uma alta condutividade térmica (AZO Materials, n.d.).

Contudo, para dimensionar a polia, foi primeiramente necessário escolher a largura da correia a ser utilizada. Tendo em conta a escassa informação no que diz respeito aos sistemas de transporte leve com correias, a largura da correia a utilizar foi decidida em discussão com o atual fornecedor de correias da AR, a Ammeraal Beltech, uma empresa líder de mercado no *design*, produção, fabrico e manutenção de correias de processamento e de transporte. Assim, dada a intenção de aumentar consideravelmente a largura da correia pelas razões já referidas, tendo em conta as características do sistema de transporte e dos materiais transportados, a largura da correia selecionada foi 80 mm.

O dimensionamento da polia foi definido de acordo com o manual guia da Habasit, uma empresa com larga experiência no fabrico de elementos de transporte e de transmissão de movimento.

A largura da polia foi definida a partir da largura da correia, de acordo com o quadro da Figura 62:

Belt width b_0	Pulley width b	
$b_0 \leq 100 \text{ mm} / 4 \text{ in}$	$b = b_0 + 20 \text{ mm} / 0.8 \text{ in}$	
$b_0 > 100 \text{ mm} / 4 \text{ in}$	$b = (1.08 \cdot b_0) + 12 \text{ mm} / 0.5 \text{ in}$	

Figura 62 - Quadro de recomendação da largura da polia (Habasit AG, 2018)

Sendo a largura da correia $b_0 = 80 \text{ mm}$, temos então a largura da polia $b = 100 \text{ mm}$.

Tendo em conta as vantagens de aumentar o diâmetro da polia, mas também as restrições no que diz respeito à massa da polia e ao diâmetro das polias que receberiam as placas posteriormente a esta secção (polias brancas na Figura 58), foi decidido usar um diâmetro $d_m = 130 \text{ mm}$ para as polias motoras e um diâmetro $d_r = 100 \text{ mm}$ para as polias de retorno, ficando assim as polias com as respetivas massas de 2,969 kg e 1,525 kg.

A largura da parte cilíndrica da polia foi definida a partir da largura da correia, de acordo com o quadro da Figura 63:

$b_0 \leq 2,000 \text{ mm} / 80 \text{ in}$:	$b_c = \frac{b_0}{2}$	
$b_0 > 2,000 \text{ mm} / 80 \text{ in}$:	$b_c = b_0 - 1,000 \text{ mm} / 40 \text{ in}$	

Figura 63 - Quadro de recomendação da largura da parte cilíndrica da polia (Habasit AG, 2018)

Sendo a largura da correia $b_0 = 80$ mm, temos então a largura da parte cilíndrica da polia $b_c = 40$ mm.

Para a altura do cone, a Habasit recomenda valores entre:

$$h = 2 * (0,001 * d + 0,075) \quad \text{e} \quad h = 3 * (0,001 * d + 0,075)$$

Para a polia motora, sendo o diâmetro da polia $d_m = 130$ mm, os valores recomendados para altura do cone, h_m , são entre 0,41 mm e 0,62 mm. Contudo, como foi referido no Subcapítulo 3.4.1, a altura do cone também depende da flexibilidade da correia utilizada que é elevada por ter sido projetada para este fim e, dos 30 mm de largura de cada cone, a correia só estará em contacto com 20 mm. Por estes motivos e pelo diâmetro da polia ser consideravelmente alto, o valor definido para a altura do cone foi $h_m = \left(\frac{0,62}{20}\right) * 30 \approx 0,9$ mm.

Para a polia de retorno, sendo o diâmetro da polia $d_r = 100$ mm, os valores recomendados para altura do cone, h_r , são entre 0,35 mm e 0,53 mm. Assim, pelo mesmo raciocínio da polia motora, o valor definido para a altura do cone foi $h_r = \left(\frac{0,53}{20}\right) * 30 \approx 0,8$ mm.

A rugosidade recomendada para a polia motora é $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ ($1,6 \times 10^{-6}$ m) e para a polia de retorno é $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ ($3,2 \times 10^{-6}$ m).

Assim, as principais características da polia motora e da polia de retorno encontram-se na Tabela 8 e os seus desenhos encontram-se no Anexo 6.

Tabela 8 - Características da polia

Diâmetro exterior	130 mm e 100 mm
Diâmetro interno	55 mm
Largura total	100 mm
Largura de cada extremidade cônica	30 mm
Altura do cone	0,9 mm e 0,8 mm
Material	Alumínio
Massa	1,969 kg e 1,525 kg
Rugosidade (motora/retorno)	1,6 μm e 3,2 μm

4.2.3.2 Correias

A outra grande mudança no sistema foram as correias. Para a seleção da correia foram tidas em conta as seguintes especificações do sistema representados na Tabela 9:

Tabela 9 - Especificações do sistema de transporte para a seleção da correia

Tipo de correia	Plana
Tipo de polia	Cilíndrica com extremidades cônicas
Largura da correia	80 mm
Comprimento da correia	7340 mm
Junta ou sem fim	Sem fim
Massa total simultânea em cima da correia	8 placas de 3,5 kg (Total de 28 kg)
Velocidade máxima de funcionamento	40 m/s
Apoio da correia	Base deslizante
Inclinação do transporte	0°
Como é feita a entrega	A partir de outro sistema de correias, sem inclinação

As características da correia foram selecionadas com o apoio da Ammeraal Beltech e encontram-se representadas na Tabela 10:

Tabela 10 - Características da correia selecionada

Material da composição	Poliéster monofilamento
Espessura	2,1 mm
Material do revestimento	PVC
Espessura do revestimento	0,5 mm
Força de tração	8 N/cm (0,08 N/m)

4.2.3.3 Acoplamento da polia motora ao veio

Dado o novo *design* e as novas dimensões das polias, o seu acoplamento ao veio também teve de ser redefinido. Embora estas tenham sido projetadas para manter o mesmo veio e o mesmo anel de fixação, o aumento significativo da largura da polia fez com que este acoplamento fosse repensado. Assim, como não é possível aumentar a largura do anel de fixação sem aumentar o seu diâmetro, foi decidido usar dois anéis de

fixação, como representado na Figura 64, de forma a ter uma transmissão do momento mais consistente e bem distribuída ao longo da largura da polia.

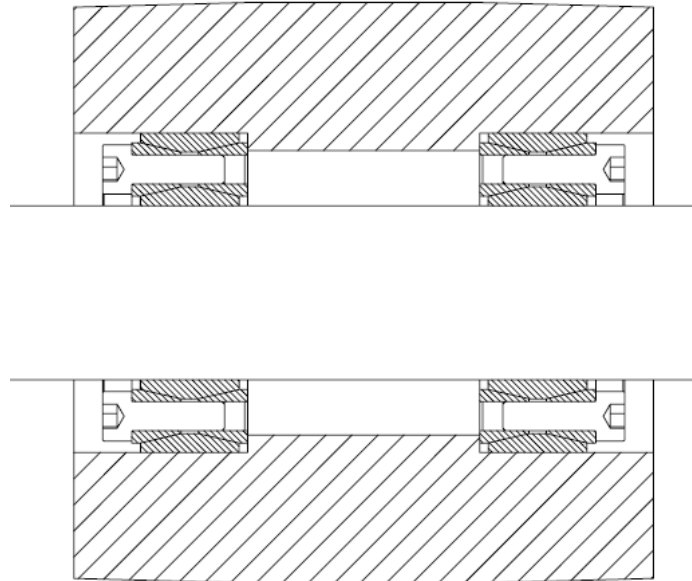


Figura 64 - Representação do acoplamento da polia motora ao veio através de dois anéis de fixação

4.2.3.4 Acoplamento da polia de retorno ao veio

O acoplamento do veio com a polia de retorno manteve-se através de dois rolamentos de esferas, fixos por um anel elástico interno cada um. Contudo, os rolamentos são diferentes, apresentando uma maior largura para corresponder ao aumento de largura das polias.

A ficha técnica dos rolamentos utilizados encontra-se no Anexo 5.

4.2.3.5 Base deslizante

No que diz respeito à base deslizante da correia, foi mantida a sua forma de “U” e o seu material (PE1000). A única alteração foi logicamente o aumento da largura para aproximadamente a mesma dimensão que a largura das polias (100 mm). O seu desenho encontra-se no Anexo 6.

4.2.3.6 Estrutura de suporte

A estrutura que suporta a base deslizante foi substituída por uma calha U, em aço S235JR, com as respectivas medidas de largura. O desenho das calhas U usadas encontra-se no Anexo 6.

Foi também adicionada uma cantoneira, passando assim para três apoios, de forma a reforçar a calha em U do lado do retorno da correia, como representado na Figura 65:

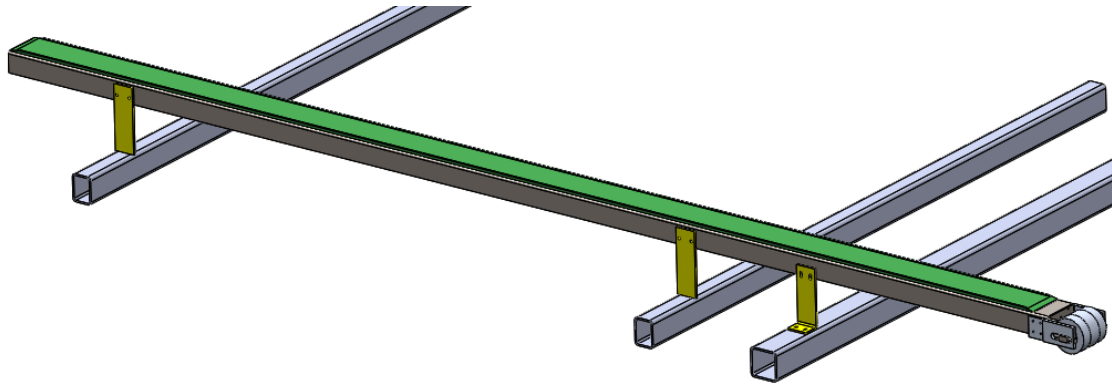


Figura 65 - Apoios da estrutura de suporte da base deslizante

Na Figura 66 encontra-se o diagrama de corpo livre da calha em U:

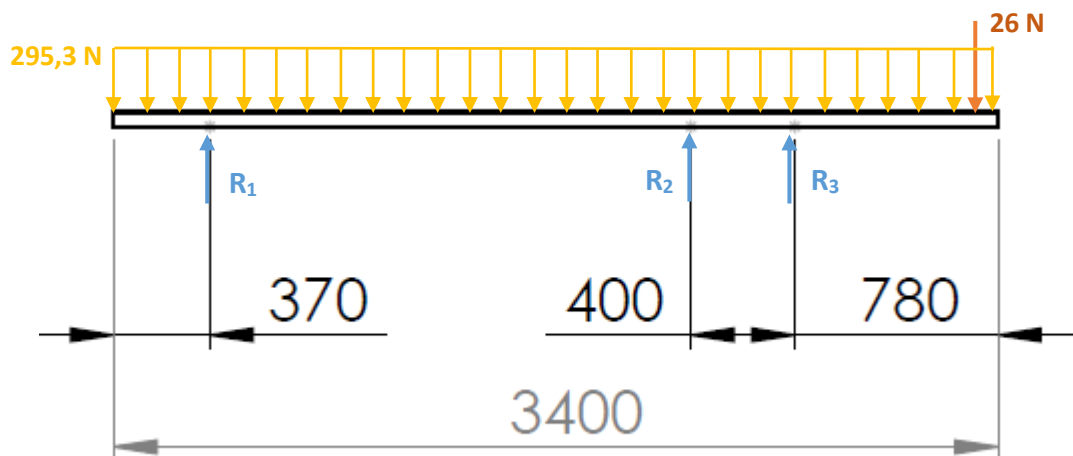


Figura 66 - Diagrama de corpo livre da calha em U

Foi feito um estudo no *software* Solid Works do deslocamento e da tensão a que a calha em U está sujeita. Na Figura 67 e na Figura 68 encontram-se os resultados desse estudo, respetivamente quanto ao deslocamento e à tensão de von Mises:

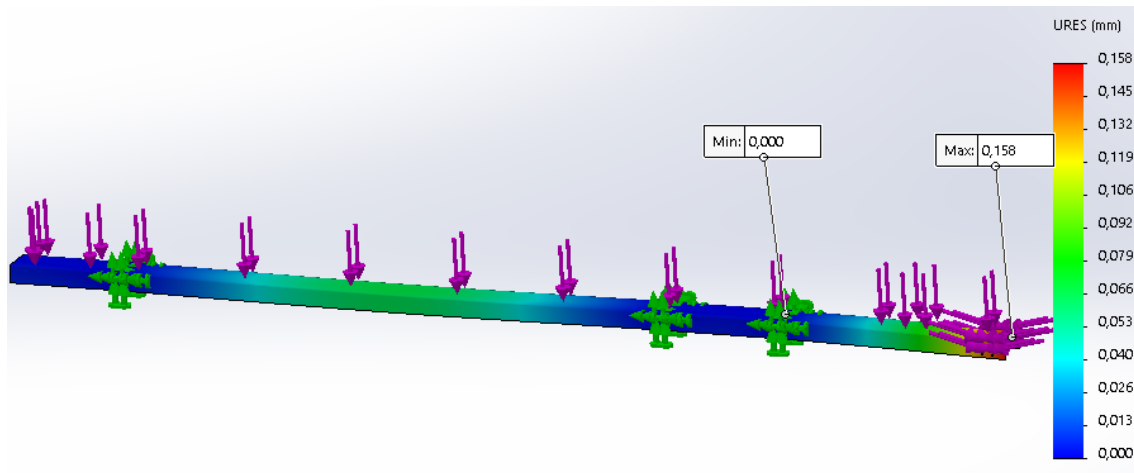


Figura 67 - Resultados do estudo quanto ao deslocamento

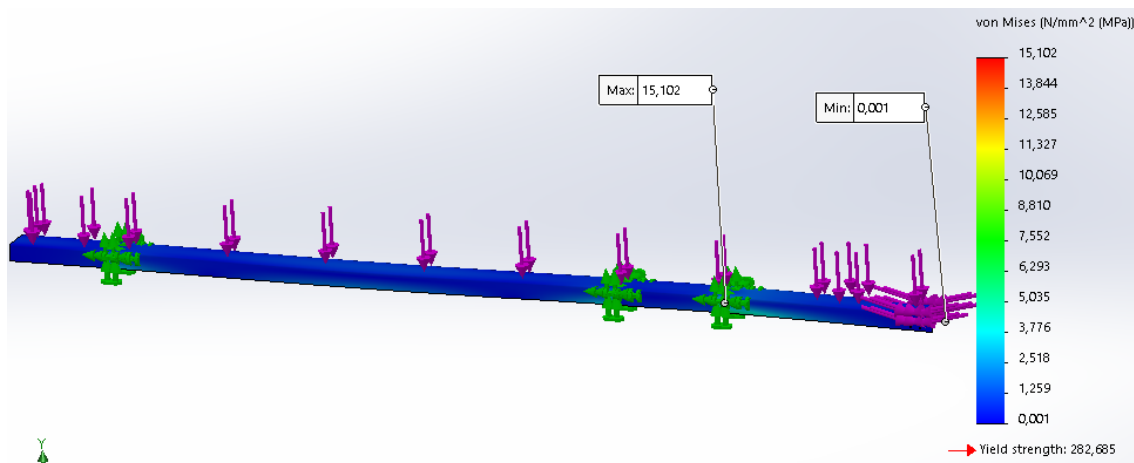


Figura 68 - Resultados do estudo quanto à tensão de von Mises

No que diz respeito ao deslocamento da calha, o valor máximo obtido foi 0,158 mm, que não representa um valor preocupante tendo em conta as dimensões da calha (60*120*3400 mm).

Quanto à tensão de von Mises, o valor máximo obtido foi 15,1 MPa que é 18 vezes menor que tensão de cedência do material usado (282,7 MPa), não representando assim também um problema.

4.2.3.7 Esticador da correia

Dado que a estrutura que suporta a base deslizante terá de ser substituída, o sistema do esticador da correia também foi redefinido. Assim, este é constituído também por um parafuso, que é roscado no veio, uma porca e um batente. Contudo, o parafuso não encosta no batente através da sua extremidade, mas sim através da sua cabeça, como representado na Figura 69, evitando assim uma possível deformação do parafuso.

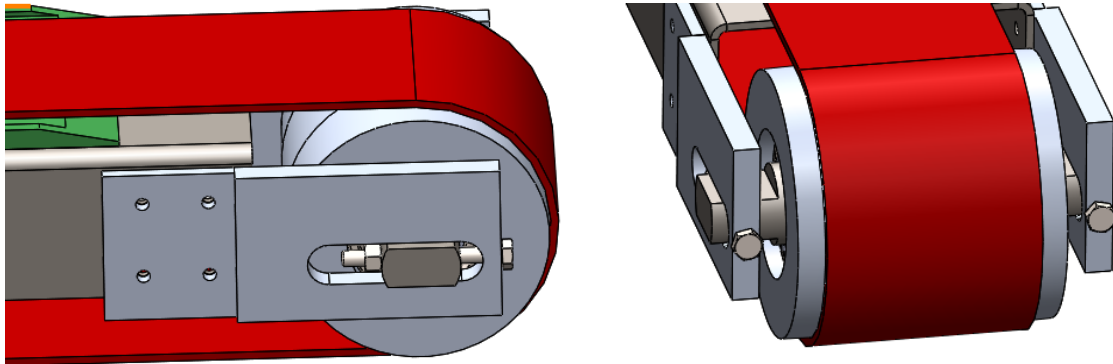


Figura 69- Novo sistema do esticador da correia

4.3 Análise de custos

Neste subcapítulo vão ser apresentados os custos atuais, referentes ao ano de 2019, primeiramente para a secção do virador de placas e, posteriormente, para as linhas de acabamentos finais, pois são nestas que existem maioritariamente sistemas de transporte com correias.

De seguida, será apresentada uma estimativa do investimento necessário para a instalação do novo sistema e também três cenários possíveis de forma a quantificar os ganhos no futuro.

4.3.1 Custos atuais

Neste subcapítulo vão ser apresentados os custos atuais, referentes ao ano de 2019.

4.3.1.1 Secção do virador de placas

Como já foi dito anteriormente, a secção do virador de placas é composta por três correias. O custo unitário de cada correia usada nesta secção é 122€.

O indicador de produção da linha são metros quadrados de placas produzidos por hora, sendo que, nesta linha, o valor médio é 352 m²/h.

Em 2019, na secção do virador de placas rebentaram 15 correias que representaram, aproximadamente, 15 horas de paragem da linha.

Posto isto, podemos concluir que os custos associados ao rebentamento de correias, na secção do virador de placas, em 2019, foram os custos das 15 correias mais os custos de falta de produção nas 15 horas de paragem. Tendo o valor das placas uma grande variância entre os vários produtos, os custos da falta de produção serão medidos em m².

Assim, os custos associados ao rebentamento de correias, na secção do virador de placas, em 2019, foram:

- 15 correias * 122€ = 1830 €;
- 15 h * 352 m²/h = 5280 m².

4.3.1.2 Acabamentos Finais

Os custos anuais das correias rebentadas nas linhas de acabamentos finais não foram possíveis de obter, devido ao facto de haver apenas um registo alusivo ao fornecedor e esse fornecedor fornecer outros produtos e serviços à empresa, não sendo assim possível distinguir aqueles que são alusivos ao rebentamento de correias nas linhas de acabamentos finais.

Em 2019, nas linhas de acabamentos finais houve, aproximadamente, 286 horas de paragem devido a problemas relacionados com correias que podem corresponder a 205 000 m².

4.3.2 Investimento

Neste subcapítulo vai ser apresentada uma estimativa do investimento necessário para a instalação do novo sistema.

4.3.2.1 Secção do virador de placas

Como foi apresentado no Subcapítulo 4.2, apenas alguns elementos vão ser novos ou adaptados e vão precisar assim de um investimento, contudo, elementos como rolamentos e anéis de fixação vão também ser colocados novos por já se encontrarem desgastados. Posto isto, os elementos considerados nesta estimativa para o novo sistema são: as correias, as polias, os anéis de fixação, os rolamentos, as bases deslizantes, as calhas em U e os suportes do esticador da correia.

Na Tabela 11 encontra-se o orçamento para instalação do novo sistema de transporte na secção do virador de placas:

Tabela 11 - Orçamento para a secção do virador de placas

Componente	Quantidade	Custo unitário	Custo Total (€)
Correia	3	41 €	123
Polia motora	3	95 €	285
Polia de retorno	3	80 €	240
Anéis de fixação	6	5,35 €	32,1
Rolamentos de esferas	6	22,90 €	137,4
Bases deslizantes	3 x 3 m	12,40 €/m	111,6
Calha em U	3 x 3,4 m	11,56 €/m €	117,91
Suporte esticador da correia	6	36,9 €	221,4
Total (€)			1268

Nesta estimativa não foram contabilizados custos da mão de obra, sendo que esta é maioritariamente interna, e custos associados às paragens necessárias para a instalação do novo sistema.

4.3.2.2 Acabamentos finais

Depois de uma análise das linhas de acabamentos finais foram selecionadas quais as secções que permitem a instalação do novo sistema de transporte sem que houvesse mudanças noutros elementos da linha. De seguida, foram levantadas as suas dimensões de forma a fazer uma estimativa do orçamento necessário para a substituição dos sistemas de transporte.

As 37 secções selecionadas, as respetivas distâncias entre veios e os comprimentos das bases deslizantes e das correias necessárias encontram-se na Tabela 12. Para o comprimento da base deslizante, foram considerados menos 200 mm que a distância entre veios e, para o comprimento da correia foram considerados mais 320 mm, dado que o perímetro das polias é 314 mm.

Tabela 12 - Dimensões das secções seleccionadas

Linha/Secção	Distância entre veios (mm)	Comprimento da base deslizante (mm)	Comprimento da correia (mm)
CF2	2750	2550	5820
	3200	3000	6720
	2000	1800	4320
	2800	2600	5920
CF1 e EMB1	750	550	1820
	2600	2400	5520
	1500	1300	3320
	800	600	1920
	2000	1800	4320
	2100	1900	4520
	700	500	1720
	2500	2300	5320
	1350	1150	3020
	CF5/PCO	2800	2600
2800		2600	5920
1300		1100	2920
2200		2000	4720
2200		2000	4720
CF5/EEC	1700	1500	3720
	1700	1500	3720
	1700	1500	3720
	1100	900	2520
	900	700	2120
	1500	1300	3320
EMB5	3200	3000	6720
	4200	4000	8720
	3500	3300	7320

	1600	1400	3520
	2400	2200	5120
	2400	2200	5120
	3500	3300	7320
	3500	3300	7320
VERNIZ4	3500	3300	7320
	3500	3300	7320
	3500	3300	7320
	2000	1800	4320
	2000	1800	4320
TOTAL (mm)	83750	76350	179340

Para cada secção, foi admitido usar três correias e conseqüentemente:

- Seis polias iguais às de retorno;
- Três bases deslizantes;
- Seis anéis de fixação;
- Seis rolamentos de esferas;
- Três calhas em U;
- Três sistemas esticadores das correias.

Para o cálculo do orçamento, os preços base assumidos foram os seguintes:

- Correia: preço base = 4,7 € e preço/comprimento = 0,0055 €/mm;
- Polia: 80€;
- Base deslizante: 12,40 €/m;
- Anel de fixação: 5,35 €;
- Rolamento de esferas: 22,90 €;
- Calha U: 11,56 €/m;
- Suporte do esticador: 36,9 €.

Assim, o orçamento para a instalação do novo sistema de transporte nestas secções encontra-se na Tabela 13:

Tabela 13 - Orçamento para as linhas dos acabamentos finais

Componente	Preços Totais (€)
Correias	3480,81
Polias	17760
Bases deslizantes	2839,85
Anéis de fixação	1187,7
Rolamentos de esferas	5083,8
Calhas em U	2652,4
Suportes do esticador	8191,8
Total (€)	41196

4.3.3 Cenários futuros

Dado que durante o estágio não houve tempo suficiente para medir resultados, foram apresentados três possíveis cenários futuros para o novo sistema de transporte instalado na secção do virador de placas:

- Cenário 1: O número de rebentamento de correias anual mantém-se igual;
- Cenário 2: O número de rebentamento de correias anual é três vezes menor;
- Cenário 2: O número de rebentamento de correias anual é cinco vezes menor;

Para a determinação das horas de paragem foi admitido que o rebentamento de uma correia corresponde a uma hora de paragem. O preço da correia usada nesta secção é 122 € e o preço da nova correia é 41 €.

4.3.3.1 Cenário 1

Neste cenário foi admitido que o número de rebentamento de correias anual se mantém igual, ou seja, é igual a 15 e representa 15 horas de paragem. Posto isto, na Tabela 14 encontra-se o quadro resumo dos custos atuais, do investimento necessário, dos custos futuros e dos ganhos/prejuízos no final do primeiro ano e partir do segundo ano:

Tabela 14 - Quadro resumo do cenário 1

Custos Atuais	Investimento	Custos Futuros	Ganhos/Prejuízos no final do primeiro ano	Ganhos/Prejuízos anuais a partir do segundo ano
15*122=1830 € 5280 m ²	1268 €	15*41=615 € 5280 m ²	-53 € 0 m ²	+1215 € 0 m ²

4.3.3.2 Cenário 2

Neste cenário foi admitido que o número de rebentamento de correias anual é três vezes menor, ou seja, é igual a cinco e representa cinco horas de paragem. Posto isto, na Tabela 15 encontra-se o quadro resumo dos custos atuais, do investimento necessário, dos custos futuros e dos ganhos/prejuízos no final do primeiro ano e partir do segundo ano:

Tabela 15 - Quadro resumo do cenário 2

Custos Atuais	Investimento	Custos Futuros	Ganhos/Prejuízos no final do primeiro ano	Ganhos/Prejuízos anuais a partir do segundo ano
122*15=1830 € 5280 m ²	1268 €	5*41=205 € 1760 m ²	+357 € + 3520 m ²	+ 1625 € + 3520 m ²

4.3.3.3 Cenário 3

Neste cenário foi admitido que o número de rebentamento de correias anual é cinco vezes menor, ou seja, é igual a três e representa três horas de paragem. Posto isto, na Tabela 16 encontra-se o quadro resumo dos custos atuais, do investimento necessário, dos custos futuros e dos ganhos/prejuízos no final do primeiro ano e partir do segundo ano:

Tabela 16 - Quadro resumo do cenário 3

Custos Atuais	Investimento	Custos Futuros	Ganhos/Prejuízos no final do primeiro ano	Ganhos/Prejuízos anuais a partir do segundo ano
122*15=1830 € 5280 m ²	1268 €	3*41=123 € 1056 m ²	+439 € + 4224 m ²	+1707 € + 4224 m ²

4.3.3.4 Análise de resultados

Dos três cenários analisados, apenas o cenário 1, em que o número de rebentamento de correias anual se mantém igual, não apresenta ganhos logo no primeiro ano. De uma forma geral, os resultados que se podem esperar, caso o sistema projetado funcione de forma a transportar as placas e a manter as correias centradas no seu percurso, são positivos quer do ponto de vista dos materiais usados quer do ponto de vista dos metros quadrados de produção ganhos.

Contudo, é importante realçar que elementos mecânicos como parafusos, porcas e anéis elásticos, não foram contabilizados no orçamento, assim como a mão de obra necessária.

CONCLUSÕES

- 5.1 Conclusões
- 5.2 Proposta de trabalhos futuros

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Esta dissertação é proveniente duma análise das avarias mais frequentes na linha CFE5, onde se conclui que o rebentamento de correias era um problema com grande impacto, não só na linha em questão, mas em grande parte das linhas da unidade fabril. Verificou-se que a maior causa, para o grande desgaste e conseqüente rebentamento das correias, era o seu descentramento nas polias. Desde o início do projeto assumiu-se como pressuposto substituir correias dentadas por planas pelo facto do elevado sincronismo garantido pelas correias dentadas não ser necessário para a função em questão.

Assim, a revisão bibliográfica desta dissertação centra-se no estudo de sistemas de transporte com correias planas. Para tal, primeiramente, foi introduzido o princípio de funcionamento dos sistemas de transmissão e de transporte e foram caracterizados os elementos constituintes de um sistema de transporte leve com correias. De seguida, foram identificados os estudos feitos sobre as falhas típicas no transporte com correias planas, sendo que o movimento lateral que a correia sofre ao longo do seu percurso foi abordado com mais profundidade. E, por fim, foram identificados os sistemas de guiamento que visam corrigir esse movimento lateral da correia.

Tendo em conta a elevada quantidade de diferentes causas que podem provocar o movimento lateral da correia e a facilidade com que estas podem ocorrer, mesmo com uma instalação rigorosa e uma manutenção do sistema regular e precisa, é muito difícil evitar este deslocamento. Portanto, a solução passa por corrigir esse movimento e, por esse motivo e por ser considerado tão importante manter a correia centrada, são vários os sistemas de guiamento da correia já criados de forma a manter o sistema de transporte com um funcionamento correto.

O sistema de guiamento a ser utilizado depende do tipo de correias e polias usado, das dimensões do sistema de transporte e dos seus elementos, da carga que é transportada e, também, de forças transversais existentes no sistema. Depois de analisar todos os sistemas de guiamento estudados, verificou-se que o uso de polias cilíndricas com extremidades cônicas seria a medida que se revela como a melhor solução pois é bastante utilizada, é a mais eficiente para sistemas de transporte leve, não tem elevados custos de instalação, nem de manutenção, e a sua adaptação à maioria das linhas da fábrica não apresentava grandes obstáculos.

Contudo, a secção escolhida para fazer o protótipo do novo sistema, por ser a secção com mais rebentamento de correias na linha CFE5, revelou-se um projeto bastante complexo por diversos fatores como:

- A secção das três correias fazer parte de um sistema de viragem de placas, com sistemas pneumáticos, que tornou todo o sistema bastante complexo de projetar pelas adaptações necessárias de vários elementos;
- Limitações de massa e dimensionais pelas razões referidas no tópico acima.
- Não existir qualquer desenho ou modelação desta secção por ter sido um fornecedor a projetar e a instalar esta secção da zona de controlo de qualidade;
- A linha estar quase sempre em funcionamento e dificultar assim a sua análise pormenorizada;

Apesar de não ser uma operação de transformação, o rebentamento de correias causa um grande transtorno naquilo que é a fluidez de produção pois, para além do tempo de paragem para a substituição de correias ser longo, pode provocar pequenas paragens posteriores à substituição para afinação do sistema relacionadas, por exemplo, com o correto esticamento da correia.

Por estes motivos, caso o sistema projetado tenha resultados positivos relativamente à situação atual, a sua implementação pode trazer grandes vantagens e grandes retornos para a produção como:

- Menos horas de paragem e, conseqüentemente, mais produção;
- As correias utilizadas terem um custo aproximadamente três vezes menor que as utilizadas atualmente;
- Menos transtornos para a produção e maior fluidez de produção;
- Menos custos de manutenção e libertação destes trabalhadores para corrigir outras avarias;
- Descoberta de uma solução que permita normalizar todos os sistemas de transporte com correias das unidades fabris e trazer assim todas as vantagens que a normalização de processos pode trazer.

5.2 Proposta de trabalhos futuros

Do ponto de vista científico, tendo em conta que as polias coroadas ou com extremidades cônicas são um dos principais e mais eficientes sistemas de guiamento existentes, seria importante estudar e dimensionar o diâmetro e a largura da polia, quando aplicadas a sistemas de transporte leve com correias planas de pequenas larguras, de forma a perceber a partir de que dimensões se começa a perder o efeito de centragem que estas polias exercem nas correias.

No que diz respeito ao projeto, ficou por realizar a sua implementação e assim quantificar os possíveis ganhos ou perdas. Associada à implementação estará uma monitorização do funcionamento e do desgaste das correias de forma a realizar alguma afinação no sistema e a perceber se o sistema de guiamento está a cumprir a sua função.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- 6.1 Artigos científicos
- 6.2 Livros
- 6.3 Dissertações de mestrado
- 6.4 Documentos de empresas e fabricantes
- 6.5 Fontes de informação exclusivamente para figuras

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

6.1 Artigos científicos

- Andrejiova, M., & Grincova, A. (2018). Classification of impact damage on a rubber-textile conveyor belt using Naïve-Bayes methodology. *Wear*, 414–415, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.08.001>
- Andrejiova, M., Grincova, A., & Marasova, D. (2016). Measurement and simulation of impact wear damage to industrial conveyor belts. *Wear*, 368–369, 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.10.010>
- AZO Materials. (n.d.). Aluminum - Advantages and Properties of Aluminum. Retrieved February 20, 2020, from <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1446>
- Bowen, D., & Knable, M. (2003, June). Crowned Pulleys. *NIBA Belt Line Newsletter*.
- Domek, G., Kołodziej, A., Dudziak, M., & Woźniak, T. (2017). Identification of the Quality of Timing Belt Pulleys. *Procedia Engineering*, 177, 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.224>
- Egger, M., & Hoffmann, K. (2012). Tracking of Flat Belts. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 2, 27–36.
- Fedorko, G., Molnár, V., Dovica, M., Tóth, T., Fabianová, J., Strohmandl, J., ... Beluško, M. (2018). Analysis of defects in carcass of rubber-textile conveyor belts using metrotomography. *Journal of Industrial Textiles*, 47(7), 1812–1829. <https://doi.org/10.1177/1528083717710712>
- Fedorko, G., Molnár, V., Michalik, P., Dovica, M., Kelemenová, T., & Tóth, T. (2019, March 1). Failure analysis of conveyor belt samples under tensile load. *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 48, pp. 1364–1383. <https://doi.org/10.1177/1528083718763776>
- Han, F., He, R., Yan, H., & Xiong, F. (2017). Lateral motion of the endless flat belt in a two-pulley belt system. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(4), 168781401769595. <https://doi.org/10.1177/1687814017695955>
- Hardygora, M. (2002). Trends in conveyor belt research. *Transport and Logistics*, 1–12.
- Hoffmann, K. (2003). Measurements and Simulation of Guiding Effects with Flat Belt Conveyors. *XVII IMEKO World Congress Metrology in the 3rd Millenium*. Dubrovnik, Croatia.

- Hoffmann, K., & Egger, M. (2001). *Lateral Running Behaviour of Conveyor Belts*.
- Hoffmann, K., & Egger, M. (2007). Lateral Running of flat belts: The Angled, Conical Pulley. In *World Congress in Mechanism and Machine Science*.
- Mathews, J. (1995). Failure Analysis in Conveyor Belt Systems. *5th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation*. Australia: Institution of Engineers, Australia.
- Reusch, B. (2005, March). The Basics of Lightweight Conveyor Belting. *NIBA Belt Line Newsletter*.
- Zhao, L., & Lin, Y. (2011). Typical failure analysis and processing of belt conveyor. *Procedia Engineering*, 26, 942–946.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2260>
- Zimroz, R., & Krol, R. (2009). Failure analysis of belt conveyor systems for condition monitoring purposes. *Studia i Materiały*, (36), 255–270.

6.2 Livros

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (9th Editio).
- Juvinall, R., & Marshek, K. (2017). Fundamentals of machine component design. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (5th Editio). JOHN WILEY & SONS, INC.
- Swiderman, R. T., Marti, A. D., Goldbeck, L. J., Marshall, D., & Strebel, M. G. (2009). *The Practical Resource for Cleaner, Safer, More Productive Dust & Material Control* (4th Editio; FOUNDATIONS, Ed.). Neponset, Illinois.

6.3 Dissertações de mestrado

- Brito, J. T. (2014). *Sistemas de Centragem de Correias Planas em Atividades de Transporte*. Universidade Nova de Lisboa.
- Flores, P., Gomes, J., Dourado, N., & Marques, F. (2017). *Transmissões por correias*. Retrieved from
<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/42663/1/T.02 - Transmissoes por Correias.pdf>
- Ribeiro, J. M. (2015). *Comparação de Métodos de Seleção de Transmissões com Correias*. Universidade Nova de Lisboa.

6.4 Documentos de empresas e fabricantes

Beltech, A. (2007). Process Conveyor Belting - Track and Tensioning. Retrieved October 21, 2019, from <https://studylib.net/doc/18851943/tracking-and-tensioning>

Corticeira Amorim. (n.d.). Apresentação, Grupo Amorim, Corticeira Amorim. Retrieved January 22, 2020, from <https://www.amorim.com/corticeira-amorim/grupo-amorim/apresentacao/>

Corticeira Amorim. (2019). Relatório e Contas, Investidores. Retrieved March 24, 2020, from <https://www.amorim.com/investidores/relatorio-e-contas/>

Habasit AG. (2018). *Fabric Conveyor Belts Engineering Guide Habasit – Solutions in motion.*

OPTIBELT. (n.d.). *Auxiliar de Montagem e Manutenção.* Retrieved from https://www.juncor.pt/downloads/file253_pt.pdf

PAR Group. (n.d.). Polyethylene PE1000 Sheet. Retrieved February 20, 2020, from <https://www.par-group.co.uk/engineering-plastics/plastic-sheet/polyethylene-pe1000-sheet-uhmw-availability/polyethylene-pe1000-sheet-uhmw/>

PTI. (n.d.-a). KLG Series. Retrieved February 12, 2020, from <https://www.pti.eu/pdf/adapters/lockingdevice/KLGG.pdf>

PTI. (n.d.-b). Locking Devices. Retrieved February 12, 2020, from <https://pti.eu/products/accessory/locking-devices/>

Ring Feder. (2019). How Locking Assemblies Work. Retrieved February 12, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=p1bmVphYmGQ>

SKF. (n.d.). Unidades flangeadas ovais de rolamento Y - F2B 30M-FM. Retrieved March 22, 2020, from [https://www.skf.com/pt/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/y-brg-oval-flanged-units/index.html?designation=F2B 30M-FM&unit=metricUnit](https://www.skf.com/pt/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/y-brg-oval-flanged-units/index.html?designation=F2B%2030M-FM&unit=metricUnit)

6.5 Fontes de informação exclusivamente para figuras

Amorim Revestimentos. (n.d.). Amorim Flooring. Retrieved January 22, 2020, from <https://amorimflooring.com/pt/wise/>

Amorim Revestimentos. (2019). *Manual de acolhimento da Amorim Revestimentos.*

Beltech, A. (n.d.). Pin Joint Belt Splicing. Retrieved January 25, 2020, from <https://www.ammeraalbeltech.com/globalassets/documents/product/pin-joint-en.pdf>

CMT. (n.d.). Timing Pulley. Retrieved January 25, 2020, from <https://www.cmtco.com/quote/CMT>

Filho, F. de M. (2009). *Elementos de Transmissão Flexível*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Foerdertechnik. (n.d.). Multi-track Conveyor. Retrieved October 1, 2019, from <https://sfb-foerdertechnik.de/en/conveyor-solutions-products/multi-track-conveyor/>

Modern Quarrying. (n.d.). Conveyor belts are a leading cause of mining fires. Retrieved October 1, 2019, from <https://www.crown.co.za/latest-news/modern-quarrying-latest-news/8295-conveyor-belts-are-a-leading-cause-of-mining-fires>

Sparks Belting. (n.d.-a). Crowned Pulleys — Which Option is Right for You? Retrieved November 15, 2019, from <http://www.sparksbelting.com/blog/crowned-pulleys-which-option-is-right-for-you>

Sparks Belting. (n.d.-b). V-Guides | Sparks Belting. Retrieved November 13, 2019, from <http://www.sparksbelting.com/v-guides>

ANEXOS

- 7.1 Ficha técnica do anel de fixação KLG030
- 7.2 Ficha técnica do rolamento de esferas 16006
- 7.3 Ficha técnica da unidade flangeada oval com rolamento “Y” F2B 30M-FM
- 7.4 Ficha técnica do motor trifásico DT71D4/MM03
- 7.5 Ficha técnica do rolamento de esferas 63006-2RS1
- 7.6 Desenhos técnicos

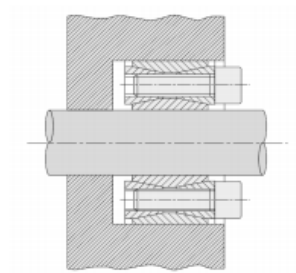
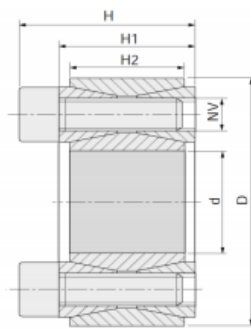
7 ANEXOS

7.1 Ficha técnica do anel de fixação KLGG030



KLGG Series

Not self-centering. Non self-locking. Quick maintenance and assembly. Medium to high torque. Pre-assembled



Part No.	d	D	H	H1	H2	Mounting Screws		Removal Screws			Max Transmitted		Shaft Pressure Pa(Nmm ²)	Hub Pressure Pm(Nmm ²)	Weight kg
						NV	Torque(Nm)	Screws	NV	Screws	Torque	Mt(Nm)			

KLGG030	30	55	26	20	17	M6x18	14	10	M8	3	588	39	227	124	0,40
----------------	----	----	----	----	----	-------	----	----	----	---	-----	----	-----	-----	------

PM = Pressure of the locking device on the hub
Pa = Pressure of the locking device on the shaft

Ta= Transmittable axial force
Tv = Screw tightening torque

Tm = Axial exerted force
Mt = Transmittable torque of the locking device
Pt = Radial force (pressure)

Tolerance: Shaft tolerance = h8
 Shaft roughness = Rz<=16µm

Hub tolerance = H8
 Hub roughness = Rz<=16µm

Dimensions: All dimensions are before mounting.

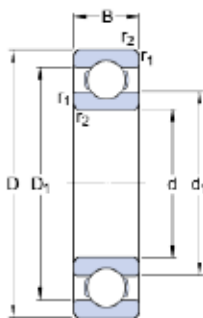
7.2 Ficha técnica do rolamento de esferas 16006



16006

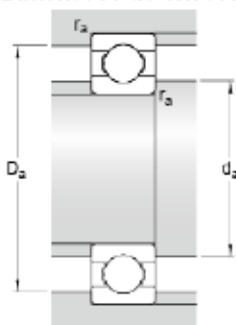
Item popular
SKF Explorer

Dimensões



d	30	mm
D	55	mm
B	9	mm
d ₁	≈ 37.7	mm
D ₁	≈ 47.3	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Dimensões do encosto



d _a	min. 32	mm
D _a	max. 53	mm
r _a	max. 0.3	mm

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	11.9	kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	7.35	kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.31	kN
Velocidade de referência		28000	r/min
Velocidade-limite		17000	r/min
Fator de cálculo	k _r	0.02	
Fator de cálculo	f ₀	15	

Massa

Massa do rolamento	0.089	kg
--------------------	-------	----

7.3 Ficha técnica da unidade flangeada oval com rolamento “Y” F2B 30M-FM

F2B 30M-FM

Compliance with standard	North American standard
Material do mancal	Cast iron
Sealing solution	Standard seals

Dimensões

d	30	mm
d_1	\approx 39.7	mm
d_2	44.1	mm
D_{b1}	79.4	mm
A	34.9	mm
A_1	13.5	mm
A_5	22.5	mm
B_1	35.7	mm
B_4	5.95	mm
J	116.7	mm
H	141.3	mm
L	79.4	mm
N	12.7	mm
s_1	26.7	mm
T	47.7	mm

Furo roscado

R_G	1/8-27 NPT
R_1	22.1 mm
R_a	45 *

Pino graxel

D_N	6.579	mm
SW_N	11.113	mm
G_N	1/8-27 NPT	

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	19.5	kN
Classificação de carga estática básica	C_0	11.2	kN
Limite de carga de fadiga	P_u	0.475	kN
Velocidade-limite (with shaft tolerance h6)		6300	r/min

Massa

Massa da unidade de rolamento		0.94	kg
-------------------------------	--	------	----

Informações de montagem

Rosca do pino roscado	G_2	M8x1	
Tamanho da chave sextavada para pino roscado	N	4	mm
Torque de aperto recomendado para pino roscado		6.5	N·m
Diâmetro recomendado para parafusos de fixação, mm	G	10	mm
Diâmetro recomendado para parafusos de fixação, em polegadas	G	0.4375	in

Produtos relacionados

Mancal		F2B 506	
Rolamento		YET 206	

Produtos apropriados

Tampa de fechamento		ECY 206	
---------------------	--	---------	--

7.4 Ficha técnica do motor trifásico DT71D4/MM03

3.2 MOVIMOT® Motor Data for IEC Configuration



MM03 - MM15



MM20 - MM30

D4005AXX

280 – 1400 1/min Δ 3 x 380 – 500 V (400 V)

Type	P _n [kW]	M _n [Nm]	n _n [1/min]	I _{n1} [A]	cos φ	J _{mot}		M _{Bmax} [Nm]	m	
						[10 ⁻⁴ kgm ²] without brake	[10 ⁻⁴ kgm ²] with brake		[kg]	[kg]
DT71D4/.../MM03	0.37	2.52	1400	1.3	0.99	4.61	5.51	5	8.6	11.4

Thermal classification F standard for the drives

System Manual - Drive System for Decentralized Installation

SEW
EURODRIVE

7.5 Ficha técnica do rolamento de esferas 63006-2RS1

SKF

Generated from www.skf.com on 2020-02-27



63006-2RS1

Deep groove ball bearings

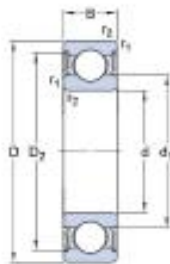
Bearing data

Tolerances,
Normal (metric), P6, P5, Normal (inch),
Radial internal clearance,
Matched bearing pairs, Stainless steel
 $d < 10$ mm, Other bearings

Bearing interfaces

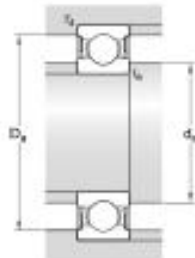
Seat tolerances for standard
conditions,
Tolerances and resultant fits

Technical Specification



DIMENSIONS

d	30 mm
D	55 mm
B	19 mm
d_1	= 38.2 mm
D_2	= 49 mm
$r_{1,2}$	min. 1 mm



ABUTMENT DIMENSIONS

d_a	min. 34.6 mm
d'_a	max. 38.1 mm
D_a	max. 50.4 mm
r_a	max. 1 mm



Generated from www.skf.com on 2020-02-27

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	13.3 kN
Basic static load rating	C_0	8.3 kN
Fatigue load limit	P_u	0.355 kN
Limiting speed		8000 r/min
Calculation factor	k_f	0.025
Calculation factor	f_0	15

MASS

Mass bearing		0.17 kg
--------------	--	---------

7.6 Desenhos técnicos

1 2 3 4 5 6

A

B

C

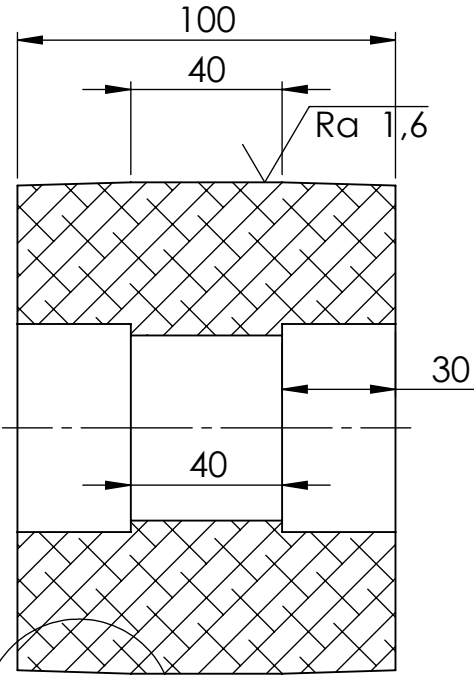
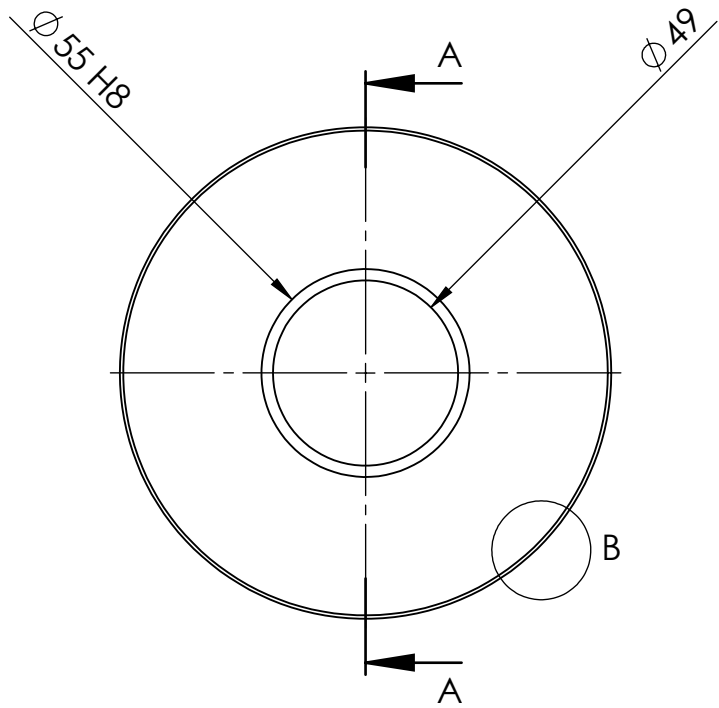
D

A

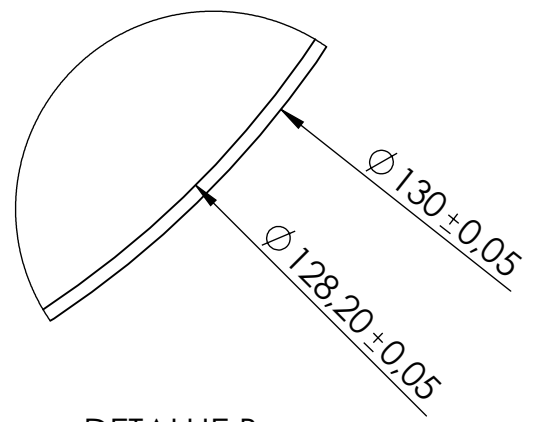
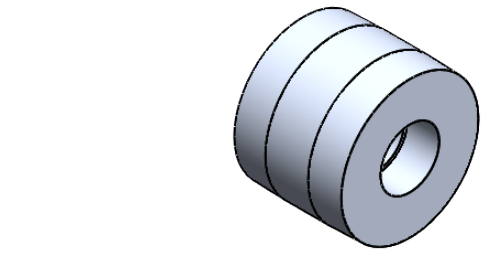
B

C

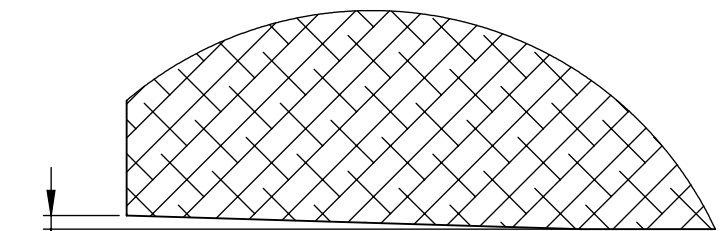
D




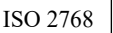
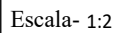

SECCÃO A-A



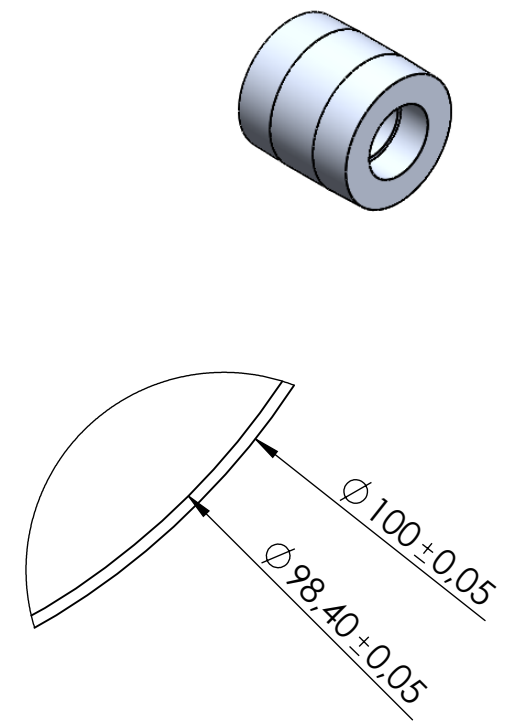
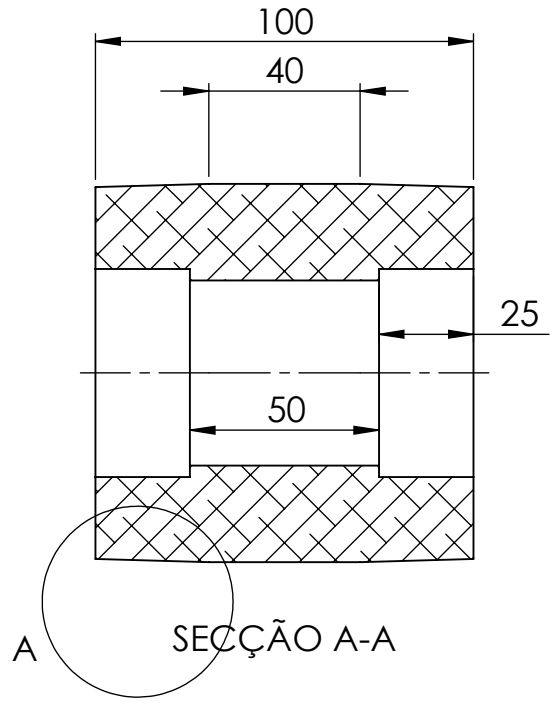
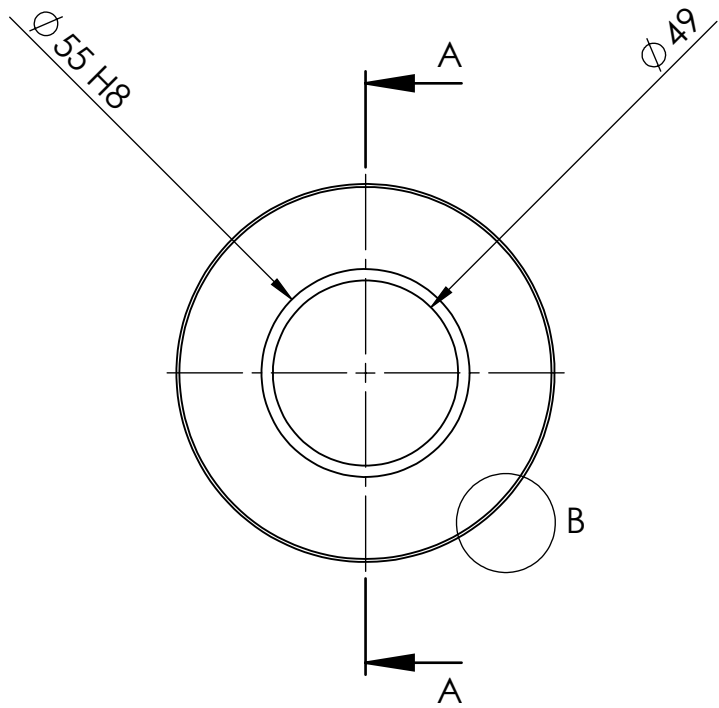
DETALHE B
ESCALA 2 : 1



DETALHE A
ESCALA 2 : 1

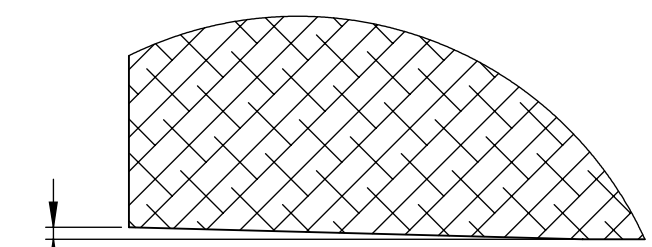
Nome	Polia conica motora		 DPEST				Quantidade	3
Des.	Ricardo Rocha	18/01/2020	  				Massa (kg)	1,969
Vist.							Tratamento	
Aprov.							Material	Alumínio
Nome	Polia conica motora						Descrição	
							Desenho	DES01 1/1

1 2 3 4 5 6



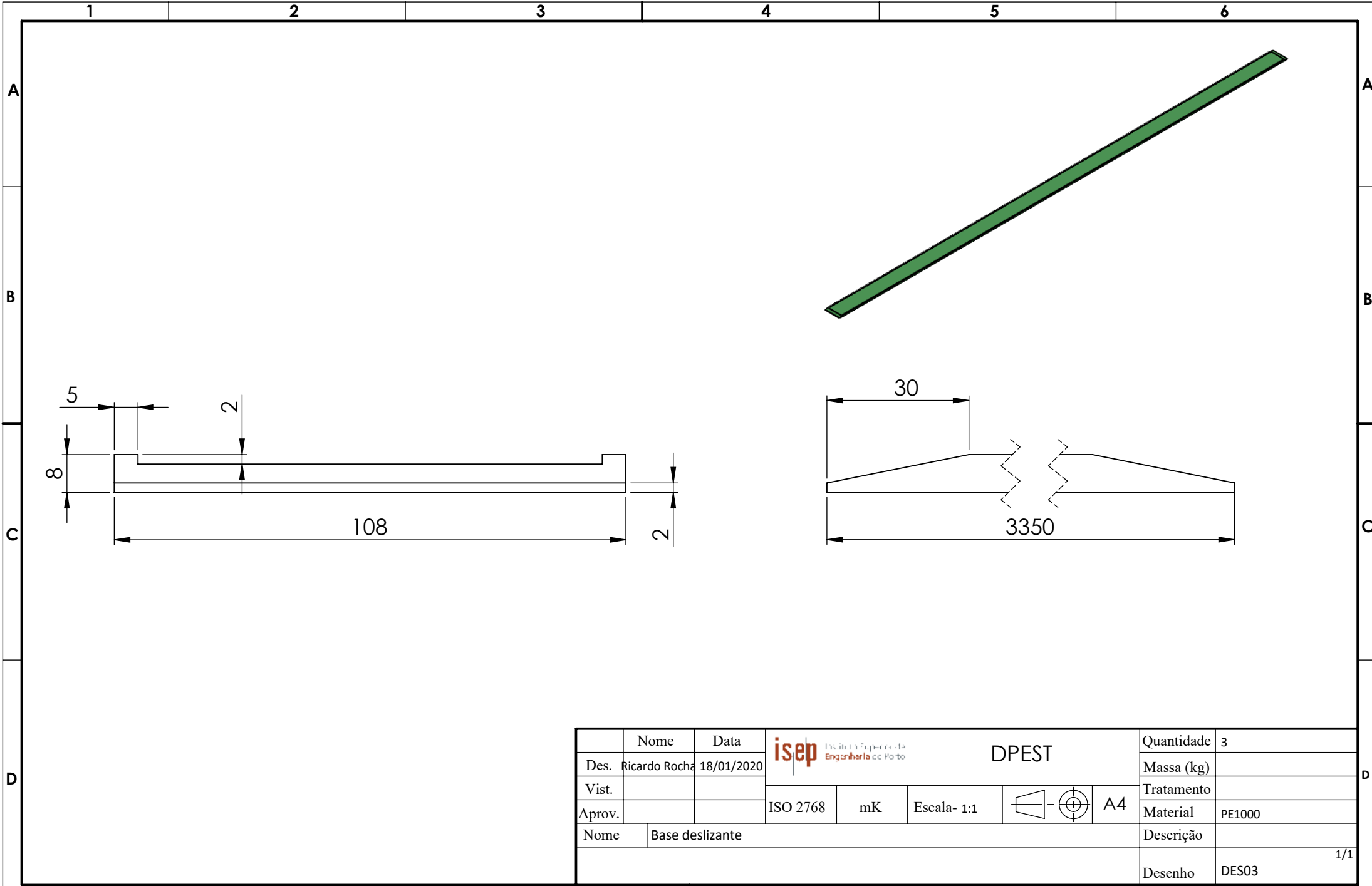
DETALHE B
ESCALA 2 : 1



√ Ra 3,2

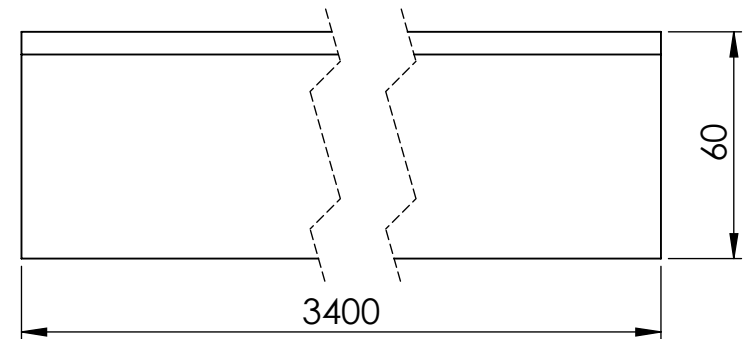
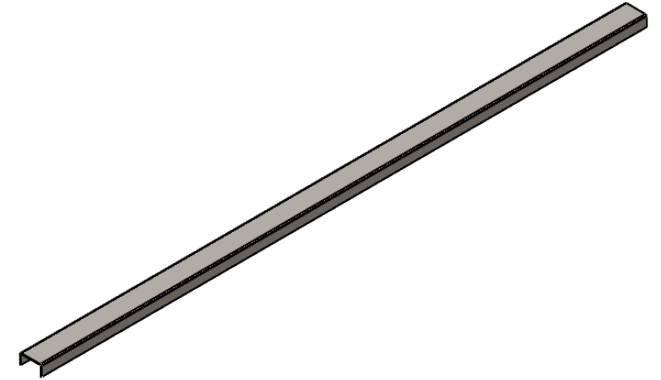
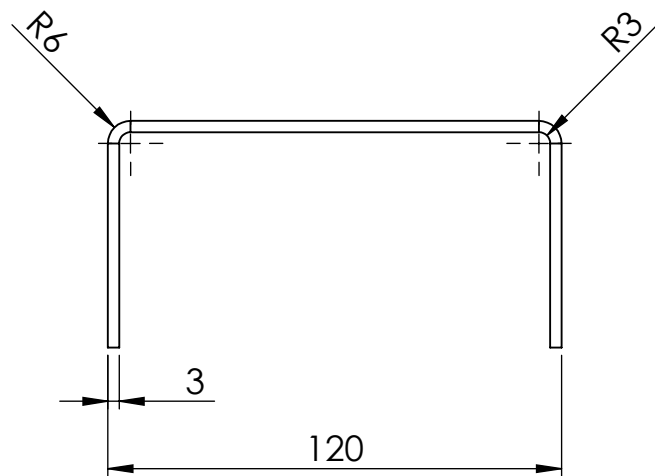



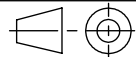
DETALHE A
ESCALA 2 : 1

Nome	Polia conica retorno	Data	18/01/2020				DPEST		Quantidade	3
Des.	Ricardo Rocha						Escala- 1:2		Massa (kg)	1,525
Vist.									Tratamento	
Aprov.									Material	Alumínio
Nome	Polia conica retorno								Descrição	
									Desenho	DES02 1/1



	Nome	Data	 DPEST				Quantidade	3
Des.	Ricardo Rocha	18/01/2020	<small>Faculdade Superior de Engenharia do Porto</small>				Massa (kg)	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Tratamento	
Aprov.							Material	PE1000
Nome	Base deslizante						Descrição	
							Desenho	DES03
								1/1



	Nome	Data	 DPEST				Quantidade	3	
Des.	Ricardo Rocha	18/01/2020					Massa (kg)	18,427	
Vist.							Tratamento		
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Material	S235JR
Nome	Calha em U						Descrição	Quinagem	
							Desenho	DES04	1/1