

Conceção de um Transportador em Espiral

Duarte Brito Pinheiro de Lacerda

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José Esteves

Coorientador na FEUP: Prof. João Falcão Carneiro

Orientador na Empresa: Miguel Ângelo



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Março de 2017

O homem que move montanhas começa por carregar pequenas pedras.

Confúcio

Resumo

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um transportador em espiral adequado à realidade da JPM. Esta empresa, que projeta, fabrica e monta linhas de produção de processo contínuo, habitualmente integra nessas linhas transportadores deste tipo fabricados por empresas concorrentes. Decidiu, no entanto, que devia avançar para a produção de um transportador em espiral próprio.

O projeto deste mecanismo compreendeu três fases principais: o estudo do estado da arte desta área, o estudo da solução pretendida e a conceção da máquina. No primeiro momento foi efetuado um levantamento das soluções já existentes no mercado, assim como das vantagens e desvantagens de cada uma.

O estudo do mecanismo pretendido englobou uma análise das necessidades dos clientes da JPM, assim como da disponibilidade dos fornecedores. Nesta fase procurou-se determinar as características de um protótipo a dimensionar.

A conceção do transportador em espiral resultou dos pontos prévios e traduziu-se num projeto conceptual da máquina a produzir. Ao longo do documento são apresentados os cálculos e raciocínios que permitiram chegar ao transportador final. Este caracteriza-se por ser um transportador em espiral ascensor, de elevação igual a 1700 mm, com 50 kg/m de carga máxima e uma velocidade limite de 21 m/min. Foi idealizado para o transporte de grupagens.

Por fim, são analisados os resultados obtidos, devidamente contextualizados relativamente aos objetivos estabelecidos e às referências de mercado.

Design of a Spiral Conveyor

Abstract

This project consists on the development of a spiral conveyor for JPM. This company, which designs, produces and assembles production lines, usually installs competitor's spiral conveyors on their lines. It decided, however, it was time to start producing their own product.

The development of this mechanism was divided in three main parts: the state of the art study, the definition of the conveyor to develop and the machine design. During the first part it was made a comprehensive analysis on the existing solutions of this type of conveyors, along with their respective advantages and disadvantages.

The definition of the intended conveyor was achieved after a study of JPM's clients' needs, as well as the existing suppliers' capabilities. The main focus of this portion of the project was to determine the specifications the conveyor should have.

The design of the spiral conveyor itself was a result of the previous stages of this work and came to be a conceptual project of the machine. The reasoning and calculations involved in the process are presented throughout the document, allowing the reader to understand how the final solution was achieved. The resulting conveyor has the following specifications: elevates the product with a height difference of 1700 mm, its maximum load is 50kg/m and has a top speed of 21 m/min. It is a spiral conveyor designed to transport packs.

As a conclusion to the project and the document, the achieved results are analysed. They are placed in perspective against the initial targets and the market reference in spiral conveyors.

Agradecimentos

À JPM, por me ter dado a oportunidade e as condições para a realização deste projeto, assim como a todas as pessoas da empresa, que contribuíram construtiva e abertamente para o desenvolvimento da presente dissertação. Em particular ao meu orientador Miguel Ângelo, pelo apoio e confiança que depositou em mim.

Aos Professores José Luís Esteves e João Falcão Carneiro, meus orientadores na faculdade, pela dedicação e acompanhamento prestados ao longo da realização da dissertação.

À minha família, pelo apoio e paciência constantes, que em muito contribuíram para a progressão deste projeto.

Aos meus colegas e amigos, não só pela ajuda prestada nos momentos necessários, mas também pelos momentos de descontração.

Um agradecimento particular ao João Oliveira, que me acompanhou e apoiou de início a fim e sem o qual este projeto não seria possível.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da JPM	1
1.2	Transportadores da JPM	1
1.3	Transportadores em Espiral	2
1.4	Motivação do Trabalho	2
1.5	Organização da Dissertação	3
2	Estado da Arte	4
2.1	Transportadores Industriais	4
	Tipos de Acionamento	4
	Meios de Transporte dos Produtos	5
	Funções Desempenhadas	7
2.2	Transportadores em Espiral	9
	Estrutura	11
	Diferentes Aplicações	11
	Referências de Mercado	12
2.3	Superfícies de Transporte Utilizadas em Transportadores em Espiral	16
	Correntes	16
	Bandas Modulares	18
	Referências de Mercado	19
3	Estudo do Transportador em Espiral Pretendido	21
3.1	Definição dos Objetivos Para o Transportador	21
3.2	Estudo dos Fornecedores da JPM	24
	Fornecedores Estruturais	24
	Fornecedores da Superfície de Transporte	24
	Outros Fornecedores	25
3.3	Escolha da Superfície de Transporte	25
3.4	Definição do Protótipo	30
4	Dimensionamento da Solução Proposta	32
4.1	Conceção da Estrutura Principal do TEG	32
	Encurvadura da Coluna Central	33
	Flexão dos Braços Horizontais	38
	Flexão da Coluna Central	40
4.2	Estudo das Calhas de Suporte e Guiamento da Corrente	41
4.3	Cálculo do Acionamento	46
	Seleção do Conjunto Motorreductor	49
4.4	Definição de Veios	50
4.5	Conceção e Montagem dos Restantes Componentes	55
	Curva de 180°	56
	Entrada e Saída do Transportador	57
	Módulo de Envio e as Suas Ligações	59
	Módulo de Reenvio e as Suas Ligações	64
	Módulo de Retorno	66
	Suporte e Blindagem da Estrutura Periférica do TEG	69
	Tirantes de Suporte da Coluna Central	72
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	74
5.1	Conclusões	74
5.2	Trabalhos Futuros	74
	Referências e Bibliografia	76
	ANEXO A: Folha de Parâmetros do Transportador em Espiral da AmbaFlex	77

ANEXO B: Folha de Parâmetros Comparativa Entre os Acionamentos Estudados.....	78
---	----

Índice de Figuras

Figura 1-1 – Logótipo do Grupo JPM.	1
Figura 2-1 – Imagem de detalhe de um transportador de rolos, evidenciando o seu método de acionamento [1].	5
Figura 2-2 – Imagem exemplificativa de um transportador de tapete.	6
Figura 2-3 – Esquema de funcionamento de um transportador elevador alternativo.	8
Figura 2-4 – Conjunto de esquemas exemplificativos de algumas configurações de transportadores em espiral existentes no mercado.	10
Figura 2-5 – Exemplo de um transportador em espiral da AmbaFlex instalado e preparado para funcionar.	13
Figura 2-6 – Exemplo de um transportador em espiral da Apollo em funcionamento.	14
Figura 2-7 – Apresentação de um transportador em espiral da Ryson integralmente carregado de produtos.	15
Figura 2-8 – Transportador em espiral da série “Hyperion”, produzido pela Jonge Poerink.	16
Figura 2-9 – Exemplo de uma corrente de um transportador com corrente metálica e tiras poliméricas do tipo <i>snap</i> [7].	17
Figura 2-10 - Exemplo de uma corrente de um transportador sem corrente metálica [7].	18
Figura 2-11 – Imagem representativa de uma banda modular [8].	19
Figura 3-1 – Paletizador convencional da empresa Premier Tech [12].	22
Figura 3-2 – Esquema de apresentação de uma grupagem de meia palete. A grupagem máxima considerada para o transportador a dimensionar foi de um quarto de palete.	23
Figura 3-3 – Exemplo da relação de raios de uma corrente (adaptado de [13]).	26
Figura 3-4 – Imagens de catálogo das correntes da Movex (esquerda) e da Regina (direita). Adaptado de [13] e [14].	29
Figura 3-5 – Fotografias da corrente da Rexnord.	29
Figura 3-6 – Esquema construtivo do transportador da AmbaFlex na qual o protótipo do TEG foi baseado.	31
Figura 4-1 - Esquema do tipo de estrutura pretendido para o TEG.	33
Figura 4-2 – Esquemas de demonstração da relação entre o diâmetro do transportador e a distância entre a entrada e saída.	35
Figura 4-3 – Esquema dos posicionamentos relativos das grupagens no transportador.	36
Figura 4-4 – Tabela que relaciona o comprimento de encurvadura de uma coluna com as suas condições de fronteira (adaptado de [16]).	37
Figura 4-5 – Tabela indicativa da relação entre os coeficientes de encurvadura e esbelteza para 3 tipos de aço (adaptado de [16]).	37
Figura 4-6 – Esquema do carregamento considerado para o cálculo à flexão dos braços horizontais.	39
Figura 4-7 – Esquema dimensional utilizado para obter a estimativa do comprimento de cada braço horizontal.	39
Figuras 4-8 e 4-9 - Estudo do espaço disponível para as calhas (esquerda) e primeira solução proposta (direita).	42
Figuras 4-10 e 4-11 - Segunda (esquerda) e terceira (direita) soluções propostas para a problemática das calhas.	44
Figura 4-12 – Imagem tridimensional da solução adotada.	45

Figura 4-13 – Esquema do plano inclinado considerado como base para o procedimento de cálculo do acionamento.	46
Figura 4-14 – Representação tridimensional do conjunto motorreductor selecionado.	50
Figura 4-15 – Esquema do tipo de carregamento a que o veio estará sujeito.	50
Figura 4-16 – Relação entre o diâmetro do veio e o valor de C_2 (adaptado de [20]).	52
Figura 4-17 – Relação entre a tensão de rotura, o acabamento superficial e o valor de C_3 (adaptado de [20]).	53
Figura 4-18 – Relação entre o raio de concordância do entalhe, o quociente entre os diâmetros do veio e o valor de K_t , para flexão e torção (adaptado de [20]).	54
Figura 4-19 – Relação entre K_t e q para diferentes tratamentos térmicos (adaptado de [20]).	54
Figura 4-20 – Módulo da curva de 180° do TEG.	56
Figura 4-21 – Aplicação de 4 módulos da curva de 180° na estrutura principal do TEG.	57
Figura 4-22 – Módulo de entrada do TEG.	58
Figura 4-23 – Módulo de saída do TEG.	58
Figura 4-24 – Aplicação dos módulos de entrada e saída no TEG.	59
Figura 4-25 – Chapas constituintes do módulo de envio.	60
Figura 4-26 – Planificação da chapa maior do módulo de envio.	61
Figura 4-27 – Planificação da chapa menor do módulo de envio.	61
Figura 4-28 – Representação tridimensional da chumaceira selecionada.	62
Figura 4-29 – Representação tridimensional da engrenagem selecionada.	63
Figura 4-30 – Braço de binário selecionado para o TEG.	63
Figura 4-31 – Montagem completa do módulo de envio e componentes anexos.	64
Figura 4-32 – Módulo de reenvio.	65
Figura 4-33 – Montagem completa do módulo de reenvio e componentes anexos.	65
Figura 4-34 – Chapa horizontal do módulo de retorno.	66
Figura 4-35 – Chapa vertical do módulo de retorno.	66
Figura 4-36 – Montagem dos componentes existentes na transição vertical-horizontal do módulo de retorno com vista ao guiamento da corrente.	67
Figura 4-37 – Esquema de definição da catenária de um transportador (adaptado de [21]).	68
Figura 4-38 – Montagem completa do módulo de retorno.	69
Figura 4-39 – Estrutura periférica do TEG.	70
Figura 4-40 – Estrutura principal do TEG com os braços de suporte da estrutura periférica acrescentados.	71
Figura 4-41 – Representação do TEG com todos os módulos agregados.	72
Figura 4-42 – Configuração final do TEG.	73

Índice de Tabelas

Tabela 3-1 – Parâmetros inicialmente definidos para o TEG	23
Tabela 3-2 – Comparação entre as características das diferentes correntes possíveis.	28
Tabela 3-3 – Tabela de definição de características do TEG.	31
Tabela 4-1 – Tabela de propriedades do tubo utilizado na coluna do TEG [15].	34
Tabela 4-2 – Conjunto de parâmetros necessários ao cálculo do acionamento.	47

1 Introdução

1.1 Apresentação da JPM

A JPM é uma empresa fundada em 1994, especializada no projeto, fabrico e montagem de soluções de automação industrial e metalomecânica, tem na base da sua atividade quatro grandes áreas de negócio:

Automação industrial – conceção, execução e montagem de projetos industriais envolvendo programação de autómatos, software de produção, engenharia de processos e eletricidade;

Metalomecânica – conceção, produção e montagem de componentes mecânicos, especialmente transportadores e acessórios em aço inox para a indústria alimentar;

Manutenção industrial – manutenção preventiva e curativa de equipamentos industriais;

Energias renováveis – instalação de soluções de unidades de produção de energia solar fotovoltaica [1], [2].



Figura 1-1 – Logótipo do Grupo JPM.

1.2 Transportadores da JPM

Uma das capacidades da JPM é a conceção do layout das instalações de um cliente. Uma indústria que funcione em processo contínuo, como a alimentar ou a química, necessita de um elevado nível de organização das diferentes etapas de transformação e embalagem do produto, sobretudo por motivos de eficiência e de ocupação de espaço. O posicionamento das máquinas e o percurso seguido pelos produtos ou matérias-primas são, assim, alvo de um estudo detalhado, por forma a criar processos com maior valor acrescentado.

Os transportadores industriais da JPM surgem neste contexto e como forma de dar vida a esse layout. São destinados ao transporte de matérias-primas ou produtos, seja em processo de fabrico ou acabados, entre os diferentes pontos de transformação ou embalamento. Os transportadores standard asseguram a movimentação dos produtos através de uma superfície de transporte móvel, habitualmente uma corrente ou banda modular. Estes existem nas mais diversas configurações, como em troços retos, curvas, subidas ou transferências; e são adequados para qualquer tipo de embalagem, como cartão, PET ou vidro.

1.3 Transportadores em Espiral

A concretização de um layout requiere, necessariamente, a combinação de um largo espetro de transportadores para cumprir as exigências do processo e respeitar as limitações físicas das instalações. Particularmente as segundas podem ser um problema, sobretudo se as linhas tiverem variação de cota. Os transportadores retos inclinados, a solução tradicional para estas aplicações, ocupam bastante espaço devido à sua pendente reduzida, o que dificulta a execução destas variações num espaço exíguo.

O transportador em espiral, que tem um princípio de funcionamento idêntico, mas uma geometria diferente, surge como resposta para este problema: permite a variação de cota das linhas de forma mais compacta que as restantes soluções. O seu formato em espiral tem uma área projetada reduzida e que não depende da diferença de alturas a que se dão a sua entrada e saída, algo impossível num transportador reto. Assim, a sua integração num dado layout liberta espaço para outros equipamentos, otimizando desta forma o espaço disponível.

1.4 Motivação do Trabalho

A JPM instalou, durante o ano de 2016, seis transportadores em espiral nas linhas que projetou. Por sua iniciativa estaria disposta a instalar mais, dadas as vantagens do mecanismo, mas é igualmente importante considerar as desvantagens: é um produto caro e com um prazo de entrega elevado. Caro, pois são mecanismos relativamente recentes, complexos e produzidos por um número reduzido de empresas; com prazos de entrega elevados pois são, na sua maioria, fabricados numa lógica *engineer-to-order*, o que naturalmente torna o processo mais longo.

Mais do que a questão financeira, é o prazo elevado que cria dificuldades à JPM. Esta é uma empresa habituada a trabalhar com prazos muito apertados, seja de conceção ou de entrega, pelo que a questão temporal tem muito peso no seu seio. O prazo de entrega de um transportador em espiral ronda as 8 semanas, ao passo que os restantes componentes da linha idealizada, produzidos dentro de portas, têm um prazo de 4 semanas. Existe aqui uma incompatibilidade que compromete, ou até impossibilita, a instalação destes transportadores com mais frequência.

Perante esta situação, a JPM decidiu que fazia sentido lançar um projeto de desenvolvimento de um transportador em espiral, ganhando assim flexibilidade temporal, além de acrescentar mais um produto ao seu portefólio. Por outras palavras, um projeto que permite aumentar a sua vantagem competitiva.

É neste âmbito que surge a presente dissertação. É um projeto de cooperação entre a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a JPM – Automação e Equipamentos Industriais, S.A., que pretende levar a cabo o desenvolvimento de um transportador em espiral da marca JPM. Os objetivos a que este trabalho se propõe são os seguintes:

- Conceção de um transportador em espiral;
- Análise do mercado na área dos transportadores;
- Definir as especificações do transportador;
- Projeto de construção mecânica do transportador.

1.5 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada de acordo com o processo de trabalho seguido ao longo do projeto. Inicia-se com a apresentação do Estado da Arte de transportadores industriais, em particular de transportadores em espiral, onde se faz uma breve contextualização daquilo que são as tecnologias e soluções adotadas no universo empresarial neste âmbito. São abordados todos os tópicos necessários à compreensão do trabalho de desenvolvimento da máquina, tais como os métodos contrutivos utilizados destes transportadores, ou os seus métodos de transporte dos produtos, por exemplo.

De seguida, apresenta-se o estudo efetuado no sentido de determinar qual o transportador em espiral pretendido com este projeto. As características funcionais e não funcionais da máquina não se encontram definidas à partida, pelo que existe necessidade de proceder a uma análise detalhada daquilo que são as necessidades da JPM e do mercado. Além disso, é igualmente necessário determinar quais os recursos existentes para a materialização do projeto do transportador, através do contacto com potenciais fornecedores. Assim, este processo reveste-se de grande importância no seio do projeto e da dissertação, na medida em que define com exatidão que máquina deve ser dimensionada.

Uma vez clarificado o mecanismo pretendido, há lugar à apresentação de todo o processo de idealização, conceção e desenvolvimento do mesmo. No capítulo “Dimensionamento da Solução Proposta” estão detalhados todos os passos necessários para a obtenção do transportador em espiral que constitui o objetivo deste trabalho, devidamente acompanhados dos respetivos cálculos e imagens necessários à sua compreensão.

No último capítulo, estão apresentadas as conclusões retiradas ao longo deste projeto, relativamente ao transportador obtido. São comparados os objetivos estabelecidos com os resultados alcançados, apontando eventuais melhorias ou opções alternativas. São também apresentadas perspetivas de trabalhos futuros de continuação de desenvolvimento desta máquina.

2 Estado da Arte

2.1 Transportadores Industriais

Um transportador é um equipamento mecânico que tem o objetivo de mover objetos entre dois pontos. Normalmente estes mecanismos visam integrar um sistema mais complexo de manuseamento de um produto em que a sua movimentação é uma de várias etapas de um processo bem definido. Nos processos mais comuns, a distância a vencer exige a utilização de mais do que um transportador, levando assim ao aparecimento de um sistema de transportadores, em que cada transportador individual é responsável por apenas uma fração da deslocação efetuada.

Um transportador ou sistema de transportadores permitem a movimentação rápida e eficiente de uma grande variedade de materiais e produtos, o que os torna soluções bastante populares em ambientes industriais, sobretudo para o processamento de matérias-primas ou embalagens. Podem transportar cargas de qualquer massa ou volume de forma segura, flexível e consistente, pelo que são uma alternativa cada vez mais comum a outras soluções de transporte, como empilhadores ou máquinas afins, principalmente em processos contínuos. Indústrias como a automóvel, a farmacêutica, a alimentar, a agrícola e a química, entre outras, utilizam de forma cada vez mais frequente sistemas integrados de transportadores para aumentar a sua produtividade. Estes mecanismos são geralmente duradouros e fiáveis e, quando combinados com controlo computacional, permitem a automatização de todo o processo, proporcionando simultaneamente um aumento do volume escoado e a diminuição de gastos com pessoal.

Existem muitos tipos diferentes de transportadores adaptados às necessidades de diferentes processos industriais. Estes mecanismos são de desenvolvimento e produção eminentemente tecnológicos, numa filosofia de proporcionarem uma resposta direta a uma necessidade específica, pelo que a diversidade de soluções é sua característica mais universal. Neste sentido, qualquer descrição técnica dos transportadores industriais como um todo será redutora, fazendo mais sentido agrupá-los em categorias mais pequenas baseadas nos seus tipos de acionamento, meios de transporte dos produtos ou funções que desempenham. Mesmo dentro destas existe grande diversidade, pelo que os exemplos aqui apresentados correspondem apenas às soluções mais significativas para o mercado e relevantes para este projeto.

Tipos de Acionamento

A fonte de energia dos transportadores industriais é uma das suas características chave. A tendência é claramente a de escolher transportadores de acionamento elétrico e transmissão mecânica do movimento, seja através de engrenagens, correntes metálicas, rolos ou até a combinação de várias opções. Este tipo de solução é simultaneamente a mais fácil de implementar, a mais versátil e ainda a mais barata, pelo que domina claramente o mercado. No entanto, existem algumas aplicações que, dada a sua natureza, requerem soluções alternativas. Entre estas, de maior relevo, contam-se:

- Transportadores gravíticos, que recorrem à gravidade como única fonte de energia. Estas são soluções utilizadas maioritariamente em plataformas logísticas, em que a movimentação dos produtos não se dá em contínuo mas de forma discreta, situação na qual a gravidade é capaz de gerir todo o abastecimento por si. Podem ser também utilizados para descer de nível cargas a grande velocidade, particularmente se não exigirem cuidado especial.
- Transportadores vibratórios, que movimentam os produtos através da sua vibração induzida. Este tipo de solução é particularmente utilizado em indústrias como a

farmacêutica ou a mineira, onde é necessário transportar grandes quantidades de matéria constituída de pequenos volumes unitários.

- Transportadores hidráulicos ou pneumáticos, que transportam o seus produtos em suspensão num fluído de trabalho. O caso pneumático é muito comum não apenas no transporte de cereais ou outros produtos agrícolas mas também para processos industriais de grande velocidade e com produtos de massa reduzida. Um dos exemplos é o transporte de garrafas de água PET, quando ainda vazias. As soluções hidráulicas são mais escassas, mas existentes em ambientes agrícolas ou de transporte de minério.

Meios de Transporte dos Produtos

Existem múltiplas formas de transmitir o movimento aos produtos a deslocar nos transportadores. Se nos mecanismos que recorrem a acionamentos gravíticos ou pneumáticos a própria fonte de energia é o meio de transporte, para os transportadores mecânicos é necessário utilizar alguma forma de transmissão do movimento. Os três tipos de soluções mais correntemente aplicados são a utilização de rolos, a utilização de uma superfície de transporte ou a utilização de uma corrente metálica.

Os transportadores de rolos são soluções robustas, muitas vezes focadas para aplicações de maiores carga e velocidade de funcionamento, ou ambas. Nesta solução, os rolos são acionados por meio de correntes metálicas que transmitem o movimento de uns para os outros. Desta forma todos os rolos rodam em conjunto em torno do seu eixo, sendo assim responsáveis pela transmissão de movimento ao produto. Os rolos são comumente de construção metálica, como evidenciado na Figura 2-1, podendo assim suportar cargas elevadas, como paletes completas. Este tipo de transportador pode possuir as formas mais diversas e tem, por isso, uma gama de aplicações bastante vasta.



Figura 2-1 – Imagem de detalhe de um transportador de rolos, evidenciando o seu método de acionamento [1].

Os transportadores que utilizam uma superfície de transporte para movimentar os seus produtos recorrem, como o nome indica, a uma superfície contínua que apoia os produtos e se movimenta solidariamente a estes ao longo do transportador. Existem três soluções primordiais de superfícies de transporte, que divergem entre si pelo seu método construtivo:

- As correntes, que são cadeias contínuas de elementos iguais entre si, encadeados sequencialmente. Existem correntes metálicas e poliméricas, utilizadas com

diferentes propósitos. Ambas podem ter os elos diretamente conectados entre si ou aplicados individualmente numa corrente metálica de base. Como esta solução construtiva é utilizada em transportadores em espiral, será discutida com mais detalhe na secção 2.3.

- As bandas modulares, que consistem numa malha formada por diferentes elementos interligados entre si. Tal como no caso anterior, estas podem ser poliméricas ou metálicas, existindo para cada material um grande número de tipos de malhas disponíveis. As bandas modulares também são soluções passíveis de serem utilizadas em transportadores em espiral, pelo que serão discutidas com mais detalhe na secção 2.3
- Os tapetes, que consistem numa superfície contínua e uniforme de um material, geralmente polimérico. Este tipo de superfície é bastante diferente das restantes, pois não é constituída por um conjunto de elementos ligados entre si, mas por uma camada única que abrange todo o transportador, como apresentado na Figura 2-2. Esta característica implica um contacto mais suave com os produtos a transportar, pelo que a utilização desta solução é particularmente indicada para a movimentação de produtos mais frágeis.



Figura 2-2 – Imagem exemplificativa de um transportador de tapete.

As três soluções de superfícies de transporte referidas exigem formas particulares de transmissão de movimento. Nos casos das correntes e bandas modulares, a solução mais adotada é a de engrenagens especificamente desenvolvidas para engrenarem diretamente nas superfícies, transmitindo assim o movimento. No caso dos transportadores de tapete, estes recorrem habitualmente a rolos para acionarem a superfície.

Por sua vez, os transportadores de corrente metálica movimentam os produtos através do contacto direto com uma ou várias correntes metálicas. Ao invés de estas servirem apenas para transmitir o movimento, havendo um elo de interface entre a corrente metálica e os produtos, como nos transportadores de corrente, no caso dos transportadores de corrente metálica os produtos são diretamente pousados nestas. Este sistema não permite velocidades particularmente elevadas, mas permite cargas consideráveis, sendo por isso muito comum no transporte de paletes, por exemplo.

Funções Desempenhadas

Boa parte dos transportadores industriais é de construção simples e tem como único propósito proceder à movimentação dos produtos entre as suas entrada e saída, como é o caso de um transportador retilíneo e horizontal, vulgarmente um troço. No entanto, existem transportadores cuja construção é um pouco menos simples, como um transportador em espiral; ou aos quais estão associadas tarefas complementares além do transporte em si, como a leitura de etiquetas por exemplo, acrescentando assim ao grau de complexidade da máquina.

Os transportadores em curva são um bom primeiro exemplo disso, pois mesmo continuando a possuir uma geometria simples, necessitam de uma construção mais cuidada e desenvolvida. Não só porque requerem a utilização de superfícies de transporte capazes de curvar, se for o caso; ou de rolos posicionados angularmente uns relativamente aos outros, o que dificulta a transmissão de movimento; como necessitam de assegurar a estabilidade dos produtos durante a aceleração lateral que lhes é imposta. Nomeadamente em produtos esbeltos isto pode ser uma dificuldade, obrigando à utilização de varandins ou de proteções especiais.

Existem também transportadores cuja função é proceder à convergência ou divergência de duas ou mais linhas diferentes. O princípio base de funcionamento destes é análogo ao de uma agulha ferroviária, mesmo se atualmente já se encontram no mercado soluções consideravelmente mais complexas. Este tipo de mecanismos é muito usado à entrada ou saída de máquinas, pois permitem que numa mesma linha existam diversas ações a acontecer em paralelo. Podem também ser utilizados para aumentar ou diminuir as cadências de funcionamento das linhas a jusante, quando em comparação com a montante do mesmo equipamento.

Uma função requerida em grande parte das linhas de funcionamento contínuo é a de acumulação de produtos em determinados pontos da linha. Há transportadores cuja função é proceder a essa acumulação, até um limite máximo, manipulando o assim o caudal para jusante. Estes mecanismos são particularmente úteis para permitir uma intervenção momentânea num ponto do processo sem o interromper por completo. Não menos importantes são os rejeitadores, transportadores capazes de rejeitar produtos não conformes, impedindo o seu prosseguimento na linha. Estes mecanismos previnem problemas como o encravamento das máquinas ao eliminarem de circulação qualquer produto que detetem não se encontrar de acordo com o estipulado.

Uma função executada por alguns tipos de transportadores e relevante para este trabalho é a de elevação dos produtos. As linhas necessitam de variar a sua cota de funcionamento, muitas vezes pelas características das máquinas que as constituem, outras por questões logísticas e de ocupação de espaço, como permitirem zonas de passagem para pessoas ou empilhadores. Existem diversas soluções para este problema, cada uma com as suas vantagens e desvantagens, que podem ser sumariamente apresentadas da seguinte forma:

- Transportador reto inclinado: este é o tipo de transportador elevatório mais básico, consistindo num troço retilíneo comum, mas inclinado. É a solução mais simples para o problema e, por isso, aplicado na maioria das situações que não possuam mais nenhuma condicionante. Tem a vantagem de ser bastante simples na construção, mas a desvantagem de consumir bastante espaço. Como a sua pendente não pode ser muito elevada para manter os produtos em segurança, habitualmente encontra-se entre os 5° e os 10°, necessita de grandes dimensões para vencer diferenças de cota não muito elevadas;
- Transportador em espiral: este tipo de transportador é uma evolução do anterior, utiliza o mesmo princípio de funcionamento mas aplicado numa hélice e não em linha reta. Esta característica implica que é consideravelmente mais compacto, mas simultaneamente mais complexo. Como este tipo de transportador constitui o foco do trabalho é descrito com mais detalhe na secção 2.2.

- Transportador alpino: este tipo de transportador situa-se a meio caminho entre o transportador reto inclinado e o transportador em espiral. É constituído por troços retos inclinados, alternados com curvas de 180° horizontais, funcionando assim como uma agregação de módulos mais pequenos, habitualmente acionados de forma independente entre si. Consegue assim ser mais compacto que o transportador retilíneo, mas menos do que o transportador em espiral. Em contrapartida, é o mais complexo dos 3. Estes transportadores são antecessores dos transportadores em espiral, tendo vindo cair em desuso com o crescimento dos segundos. As suas utilizações atuais resumem-se a equipamentos de grandes dimensões que funcionam simultaneamente como *buffers*, cumprindo assim as funções de elevação e acumulação.
- Transportador elevador alternativo: o nome deste equipamento resulta do seu método de funcionamento similar a um elevador. Cada produto é recolhido no ponto inferior, de entrada, por uma plataforma que o transporta verticalmente até ao ponto superior, de saída, como demonstrado no esquema da Figura 2-3. A plataforma retorna em seguida ao ponto inferior em posição vertical, onde recolhe novo produto. Esta solução é a mais compacta de todas as apresentadas, requerendo um espaço mínimo devido ao seu movimento exclusivamente vertical. No entanto, é simultaneamente mais complexa e garante menores valores de cadência na linha, dado o seu funcionamento alternativo.

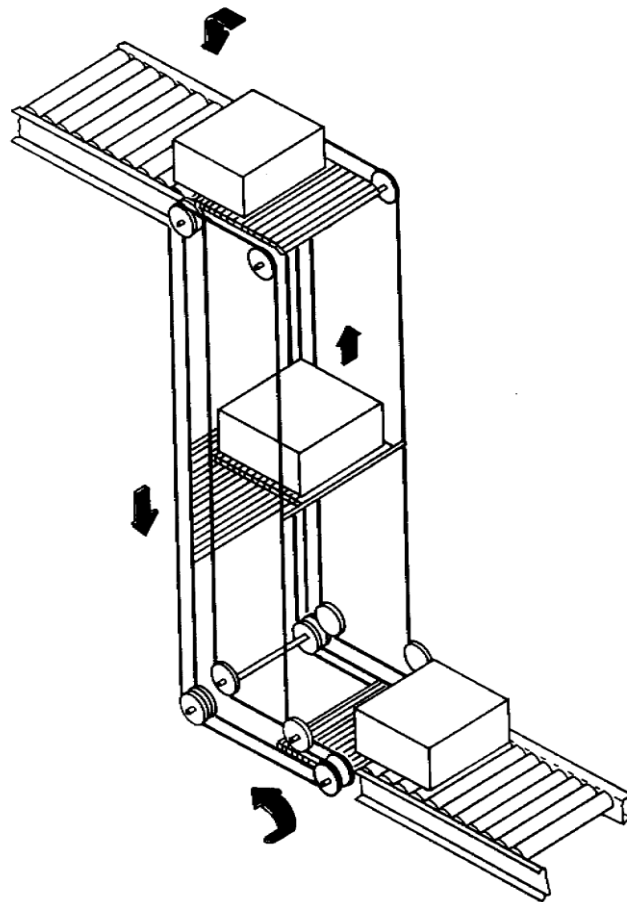


Figura 2-3 – Esquema de funcionamento de um transportador elevador alternativo.

2.2 Transportadores em Espiral

Um transportador em espiral é um tipo específico de transportador industrial, utilizado numa linha de produção de fluxo contínuo para se proceder, de forma compacta, à mudança de cota do produto. A sua configuração circular permite grandes subidas ou descidas numa área reduzida e que não depende das alturas de entrada e saída.

Tal como referido na secção anterior, esta solução, comumente procurada para a elevação dos produtos, surge inicialmente como uma alternativa ao transportador inclinado reto e ao transportador alpino. Dadas as reduzidas pendentes de subida necessárias para assegurar a estabilidade dos produtos transportados, estes tipos de transportadores tornam-se habitualmente bastante grandes ou compridos. Esta característica pode ser bastante inconveniente pois, juntamente com a restante linha, exigirá um pavilhão fabril de dimensões exageradas, eventualmente superiores às existentes. Assim, um transportador capaz de garantir grandes diferenças de cota ocupando pouco chão de fábrica torna-se relevante, dando lugar ao aparecimento do transportador em espiral.

Este mecanismo é constituído por uma estrutura de suporte à qual é acoplado um percurso helicoidal. Este é constituído por um conjunto de calhas sobre as quais viaja a superfície de transporte dos produtos, habitualmente uma corrente ou banda modular. O acionamento da superfície de transporte é tradicionalmente feito por um conjunto motorreductor posicionado num dos extremos. O motorreductor localiza-se no cimo do transportador quando se pretende elevar a carga e no fundo do transportador quando se pretende baixar a carga.

Um transportador em espiral, como foi referido, é sempre um elemento constituinte de uma linha maior e, como tal, as suas características dependem do que o rodeia. Na realidade, cada mecanismo deste género é único e dimensionado para a aplicação em causa, em simultâneo com os restantes transportadores, permitindo assim uma integração perfeita no meio onde se insere. É com o projeto e a configuração de todo o processo que se definem os parâmetros construtivos que esta máquina deve ter. Estes parâmetros construtivos constituirão um bilhete de identidade do transportador e devem ser pensados e agrupados da seguinte forma:

- **Propósito do mecanismo:** um transportador em espiral pode ser pensado para elevar os produtos, descê-los ou mesmo para trabalhar nos dois sentidos. Cada um dos casos possui características diferentes, tais como o posicionamento do acionamento ou a geometria das engrenagens. Há ainda a possibilidade de funcionar como acumulador, gerindo o caudal de saída dos produtos, funcionalidade essa diferenciada das anteriores. Assim, é necessário saber à partida o que se pretende do transportador, pois disso dependem todas as restantes variáveis do projeto;
- **Tipos de produtos a transportar:** cada processo é pensado para o produto que produz, pelo que os transportadores nele incluídos o são igualmente. Tal como os restantes transportadores da linha, os transportadores em espiral variam bastante as suas características em função do que nele circula. É muito diferente transportar caixas de cartão, garrafas de vidro ou alimentos congelados – desde a forma do produto à temperatura de funcionamento, passando pelo coeficiente de atrito e pela reatividade química, cada variável dos produtos exige adaptação dos transportadores. Parâmetros como a velocidade de acionamento, a carga, a pendente e sobretudo as características da superfície de contacto com o produto estão altamente dependentes deste;
- **Alturas:** tratando-se de um mecanismo que visa alterar a cota da linha de produção, as alturas que o constituem serão os seus parâmetros fundamentais. É necessário saber à partida qual a altura da linha de montagem precedente, que corresponderá à altura de entrada do transportador em espiral; assim como a altura da linha seguinte, que corresponderá à altura da saída do transportador em espiral. A entrada e a saída

definem a dimensão vertical do transportador, assim como indiretamente as suas dimensões horizontais;

- **Largura da superfície de transporte:** a largura da corrente ou banda modular é escolhida em função do tipo de produto a transportar, mais concretamente das suas dimensões. No entanto, uma parte considerável das linhas de produção de fluxo contínuo varia frequentemente o produto que nelas circula, pelo que é necessário precaver essa situação. Assim, o cliente deve especificar que dimensão pretende para o transportador, de forma a não por em causa a sua produção;
- **Velocidade de funcionamento:** a velocidade de funcionamento de um transportador em espiral deve ser igual à da restante linha, se possível. Caso isto não se verifique, poderá haver desgaste quer do transportador como dos volumes transportados. É comum os transportadores em espiral terem uma regulação de velocidade para se adaptarem às necessidades. A sua velocidade máxima é por norma superior às necessidades previstas para acomodar eventuais alterações que venham a ser necessárias;
- **Carga máxima:** a carga máxima do mecanismo é uma variável de projeto e, por questões de segurança, não deve ser excedida uma vez em serviço. Esta tende a ir de encontro às necessidades, sempre na ótica de não ter um produto sobredimensionado, mas simultaneamente permitindo alguma flexibilidade de produção. Assim, há no mercado patamares padrão de carga máxima admissível. Aquando da solicitação do transportador em espiral deve referir-se a carga máxima que se pretende transportar;
- **Pendente:** o valor da pendente é o resultado da ponderação de diversas outras variáveis. Para aplicações padrão, ele é o mais elevado possível dentro dos valores que asseguram a estabilidade e segurança dos produtos que são transportados. Para a definir é preciso então saber as características do produto, a velocidade, o material e a dimensão da corrente, assim como a altura a vencer e a configuração do transportador. O facto de ser um subproduto das outras variáveis não a torna menos importante, pois é utilizada no cálculo das perdas de atrito existentes no mecanismo, essenciais à escolha do acionamento;
- **Configuração do transportador:** este parâmetro é dado pelo ângulo formado entre a entrada e a saída do transportador, que caracteriza a sua configuração espacial. Existem diferentes possibilidades para os dois sentidos de rotação. Habitualmente o fornecedor indica que configurações tem disponíveis para cada modelo e cabe ao cliente escolher a configuração que mais se adequa à linha que está a dimensionar. Não raras vezes há que procurar um compromisso entre o pretendido e o possível, pois nem todas as configurações da Figura 2-4 se encontram sempre disponíveis. As mais comuns são as opções A e B.



Figura 2-4 – Conjunto de esquemas exemplificativos de algumas configurações de transportadores em espiral existentes no mercado.

Estrutura

A estrutura de um transportador em espiral é definida como o corpo que sustenta a hélice por onde circulam os produtos. É responsável por suportar todos os restantes elementos do mecanismo, pelo que constitui a sua base fundamental, seja em termos de princípio ou de dimensionamento. Existem duas grandes opções estruturais no que à construção de um transportador espiral diz respeito: torre central cilíndrica e estrutura articulada de perfis. Estas devem ser analisadas cuidadosamente, na medida em que representam diferentes conceitos de materialização da mesma máquina, que acarretam diferentes características globais da mesma.

A torre central cilíndrica é a modalidade construtiva mais utilizada no mercado. Nesta opção existem duas grandes sub-opções: tubo central com raios soldados (utilizada por exemplo pela AmbaFlex) ou estrutura em chapa quinada, com rasgos verticais onde são aparafusados os braços horizontais (utilizada pelas empresas Apollo ou Ryson). No primeiro caso, é utilizado um único tubo, de diâmetro considerável e da altura pretendida para o transportador. Cada braço horizontal é soldado individualmente e a estrutura pode ter reforços nos topos. Esta solução tem como vantagens a qualidade elevada da solução, o bom acabamento e *design* apurado e o consumo de matérias-primas reduzido. Em contrapartida, como acarreta um elevado número de soldaduras, é uma solução de construção pouco flexível, além de relativamente cara e difícil de executar.

O segundo caso requer um tubo central onde são acopladas um conjunto de chapas exteriores, curvadas de forma a formarem uma circunferência exterior ao tubo, que quando montadas umas nas outras formam uns rasgos verticais. Nesses rasgos são aparafusados os braços de suporte da estrutura helicoidal, à altura pretendida. Esta solução é mais flexível do que a anterior, devido à liberdade de posicionamento vertical dos raios horizontais, cuja montagem aparafusada é também mais simples. Por outro lado, tem as desvantagens de implicar a construção de uma torre mais complexa e de ser uma solução globalmente mais frágil. De certa forma as duas soluções são complementares entre si.

Por sua vez, a estrutura articulada é uma solução que se caracteriza pela idealização de uma estrutura adequada às necessidades construída exclusivamente por perfis quinados. A torre é construída por 4 ou 8 perfis verticais (dependendo da carga a transportar e da altura do transportador), ligados horizontalmente entre si como reforço. Os braços horizontais são igualmente feitos no mesmo tipo de perfil, aparafusados horizontalmente à coluna. Este método construtivo tem a vantagem de ser globalmente de mais simples conceção e montagem, na medida em que apenas utiliza um tipo de perfil e todas as ligações são aparafusadas. Isso torna-o também flexível e modular. No entanto, uma estrutura deste tipo é inerentemente mais frágil, o que implica transportadores de menor capacidade de carga, como são os da Jonge Poerink, um dos quais está apresentado na Figura 2-8. Além disso, este tipo de montagem é pouco higiénico, no sentido em que existem muitos pontos passíveis de acumularem lixo, o que torna estas soluções menos apelativas para aplicações no ramo alimentar.

Diferentes Aplicações

Os transportadores em espiral, tal como todos os transportadores industriais, podem ser concebidos com diferentes aplicações em mente. A mais comum é também a mais simples: a de fazer subir ou descer os produtos. No entanto, há transportadores em espiral mais complexos, como por exemplo os de pista dupla, que podem movimentar dois tipos de produtos diferentes em simultâneo, não só a velocidades diferentes como até em sentidos opostos. Nesta solução a estrutura de suporte e a espiral são as mesmas, mas existem dois acionamentos e duas superfícies de transporte. Este tipo de transportador é bastante útil quando correm duas linhas de processos diferentes em paralelo, seguindo o mesmo percurso.

Outras aplicações bastantes comuns são as de pista estreita ou de transporte em massa (*mass flow*). São conceitos totalmente opostos: no primeiro a largura do transportador é reduzida para suportar o produto lateralmente, o que é particularmente útil se este for esbelto, como uma garrafa de água; no segundo a largura do transportador é propositadamente elevada, permitindo a movimentação de diversos produtos em simultâneo, ao contrário da habitual fila indiana. Não raras vezes, o transportador em massa tem também a função de acumulação, ou *buffer*, como consequência do elevado número de itens que o atravessam a cada instante.

A função de acumulação em si, no entanto, é principalmente obtida por transportadores em espiral concebidos com esse fim. Estes são equipados com duas espirais concêntricas, ao invés da unitária tradicional, e com um mecanismo que faz a gestão da ocupação do espaço. Por norma uma espiral é utilizada para subir e outra para descer os produtos, tornando o transportador apenas num longo percurso curvilíneo, cabendo ao mecanismo auxiliar a gestão da dimensão vertical percorrida, em função dos fluxos de entrada e saída. De um modo algo simplista pode ser considerado um armazém do tipo FIFO de funcionamento contínuo, aplicado no interior de um linha de produção.

Existem também transportadores de múltiplas entradas ou saídas, em diferentes pontos da espiral. Este conceito é usado sobretudo em grandes plataformas logísticas, onde existem armazéns de vários níveis. Um único transportador em espiral pode ser responsável pela movimentação vertical dos produtos para todos os níveis. Necessariamente que este acrescento de complexidade do transportador implica uma redução simultânea das cargas máximas dos produtos e das cadências de funcionamento, por forma a permitir um correto funcionamento das entradas ou saídas.

Outras aplicações são também possíveis, como um transportador de duas espirais diferentes e a mesma estrutura, ou até a combinação de diferentes funções das acima referidas. No entanto, essas são soluções não convencionais e por norma pouco utilizadas.

Referências de Mercado

Os transportadores em espiral são mecanismos bastante específicos, cuja otimização requiere um esforço detalhado e continuado. O conjunto de características e parâmetros construtivos referidos tornam este tipo de transportador num produto relativamente caro e complexo, cujo fabrico é sempre feito à medida do cliente e perante uma encomenda concreta. Como consequência não são muitos os fabricantes deste tipo de equipamento – o mercado é controlado por um grupo relativamente restrito de fabricantes que constituem as referências para quem procura transportadores em espiral. Os fabricantes mais relevantes são descritos nos parágrafos que se seguem.

AmbaFlex: a AmbaFlex é uma empresa holandesa especializada em transportadores em espiral e, nesta área de negócio, constitui a principal referência de mercado. O seu catálogo de transportadores em espiral é o mais abrangente dentro do género, com 13 produtos padrão, além de diversas possibilidades de soluções à medida, o que abrange todas as gamas deste tipo de transportadores atualmente existentes no mercado. Adicionalmente, os transportadores AmbaFlex são também a referência no que à qualidade de construção diz respeito: toda a solução é desenvolvida internamente - desde a estrutura integralmente em tubos de aço soldados, à superfície de transporte com elos de elevada durabilidade e de fácil substituição - pelo que o mecanismo se caracteriza por elevada fiabilidade. Além disso, a solução é propositadamente robusta, o que lhe confere uma vida útil longa. Na Figura 2-5 pode observar-se um exemplar de um transportador em espiral produzido por esta empresa.

A AmbaFlex é também uma empresa bastante capaz em termos de engenharia, com facilidade em adaptar os seus produtos à necessidade dos clientes, assim como possui também o seu

próprio centro de inovação, pelo que pode funcionar como parceira no desenvolvimento e teste de um mecanismo integralmente novo. Este conjunto de características confere a esta empresa holandesa um estatuto *premium*, mas igualmente acarreta duas consequências menos agradáveis para o consumidor: preços elevados, justificados pela qualidade e variedade dos produtos e pela posição no mercado; e longos prazos de entrega, da ordem das 8 semanas por transportador, decorrentes da filosofia *engineer-to-order*.

Como referência, o transportador com a configuração mais básica tem uma capacidade de carga e velocidade máximas de 50 kg/m e 60 m/min, respetivamente [3].

Apollo: a Apollo é igualmente uma empresa holandesa especialista em logística interna. Fornece diversas soluções para esta área, desde diversos tipos de transportadores de embalagens a máquinas de compactação, passando por elevadores e transportadores de paletes. Concretamente no que a transportadores em espiral diz respeito, a Apollo possui 6 gamas diferentes que cobrem as aplicações mais frequentes deste tipo de mecanismo: transportador em espiral simples, com pista dupla, com escoamento em massa, múltiplas entradas ou saídas, pista estreita e ainda um transportador espiral de elevada capacidade de carga. Na Figura 2-6 está apresentado um transportador em espiral produzido por esta empresa.

Tal como no caso da AmbaFlex, estas soluções são totalmente desenvolvidas internamente, pelo que são fornecidas com a garantia do fabricante de um funcionamento fiável. A construção não é de tão elevada qualidade como a da sua congénere AmbaFlex, mas não deixa de ser robusta e capaz. A estrutura do mecanismo é composta por uma coluna central em chapa que possui rasgos verticais onde são aparafusados os braços horizontais. Este sistema permite maior flexibilidade de montagem, mas é uma solução de menor qualidade. A Apollo, com o intuito de se expandir para o mercado americano, usa a Ryson como filial neste continente.

Como referência, o transportador com a configuração mais básica tem uma capacidade de carga e velocidade máximas de 50 kg/m e 60 m/min, respetivamente [4].



Figura 2-5 – Exemplo de um transportador em espiral da AmbaFlex instalado e preparado para funcionar.



Figura 2-6 – Exemplo de um transportador em espiral da Apollo em funcionamento.

Ryson: a Ryson é uma empresa americana que funciona como braço da Apollo neste mercado, onde é a empresa mais relevante. É especialista em transportadores, particularmente em transportadores em espiral, dos quais possui uma gama com os mesmos 6 tipos diferentes que a Apollo. Tendo em conta as especificidades do mercado americano, as soluções deste fabricante estão focadas em serem robustas e possantes, características que se encontram em todos os produtos da gama. Os seus transportadores possuem o mesmo tipo de estrutura dos da casa mãe, com uma coluna em chapa com rasgos verticais onde são aparafusados os braços horizontais; assim como a mesma corrente de transporte desenvolvida internamente. Está apresentado um exemplar de um transportador desta empresa na Figura 2-7.

Como referência, o transportador com a configuração mais básica tem uma capacidade de carga e velocidade máximas de 111 kg/m e 60 m/min, respetivamente [5].



Figura 2-7 – Apresentação de um transportador em espiral da Ryson integralmente carregado de produtos.

Jonge Poerink: a Jonge Poerink é uma empresa holandesa produtora de transportadores de diversos tipos, tais como curvas, conectores e transportadores em espiral. Uma parte importante da sua atividade é a produção de transportadores para aplicações alimentares, que, dada a sua natureza, devem obedecer a um conjunto de restrições específicas. Esta empresa disponibiliza 3 tipos de transportadores em espiral, um alimentar e dois industriais. Nos 3 casos, a abordagem da Jonge Poerink foi diferente das traçadas pelas empresas anteriormente descritas, optando por soluções mais ligeiras: a estrutura do mecanismo é totalmente construída a partir da montagem ou junção de perfis metálicos, por forma a criar uma armação onde a espiral assenta. Este método construtivo produz transportadores mais simples e leves, mas simultaneamente menos capazes e robustos. Mesmo a solução de maior capacidade da empresa, o transportador "Hyperion", apresentado na Figura 2-8, cuja estrutura de perfis já é soldada e não aparafusada, tem valores limite de trabalho inferiores aos da concorrência.

Como referência, o transportador com a configuração mais básica tem uma capacidade de carga e velocidade máximas de 45 kg/m e 35 m/min, respetivamente [6].



Figura 2-8 – Transportador em espiral da série “Hyperion”, produzido pela Jonge Poerink

2.3 Superfícies de Transporte Utilizadas em Transportadores em Espiral

Na secção “Meios de Transporte dos Produtos” foram descritas as formas utilizadas pelos transportadores industriais para transportarem os produtos. No caso concreto dos transportadores em espiral, apenas algumas dessas soluções são válidas, nomeadamente as superfícies de transporte. Mesmo entre este grupo mais restrito, dadas as condicionantes impostas pelo funcionamento do mecanismo, como a pendente ou a curvatura, nem todas as soluções são possíveis de serem utilizadas. Assim, os transportadores em espiral são geralmente equipados com correntes ou bandas modulares de características próprias para estes mecanismos. É, pois, relevante compreender um pouco melhor as características genéricas destas soluções, descritas nas secções que se seguem.

Correntes

As correntes são cadeias de elementos todos iguais entre si, encadeados sequencialmente, tal como referido anteriormente. Existem dois grandes métodos construtivos de correntes: com corrente metálica e sem corrente metálica. No primeiro caso, exemplificado na Figura 2-9, os elos poliméricos encaixam diretamente na corrente metálica através de um sistema de encaixe rápido do tipo *snap*. Assim sendo, não contactam entre si, limitando-se a suportar os produtos, cabendo então à corrente metálica suportar o esforço de tração a que a corrente estará sujeita.

Este tipo de solução é adequado para aplicações com solicitações mais exigentes, onde a utilização da corrente metálica para a transmissão do movimento assegura maiores capacidade e fiabilidade.



Figura 2-9 – Exemplo de uma corrente de um transportador com corrente metálica e tiras poliméricas do tipo *snap* [7].

No segundo tipo de corrente, que não utiliza corrente metálica, os elos ligam-se diretamente uns aos outros. São, assim, responsáveis não só pelo suporte dos produtos, como pela transmissão do movimento de uns para os outros. O esforço máximo a que este tipo de corrente se pode sujeitar é assim necessariamente inferior, devido à menor resistência mecânica das ligações entre os elos, quando em comparação com o recurso a uma corrente metálica. Esta solução tem ainda outra particularidade: a face inferior dos elos tem que possuir cavidades com a forma fêmea dos dentes das engrenagens que os devem movimentar, como apresentado na Figura 2-10. As referidas engrenagens são habitualmente construídas num material semelhante ao dos elos e otimizadas para transmitir o movimento de forma eficiente em cada aplicação. Por outras palavras, não são engrenagens padrão, mas sim desenvolvidas especificamente para estas aplicações.

Existem centenas de tipos de correntes diferentes, cada uma delas otimizada para um conjunto particular de aplicações. Tal como se analisou na secção 2.1, os transportadores industriais são desenvolvidos para responder a necessidades concretas, pelo que existe um sem número de conceitos diferentes. Igualmente, existem soluções de correntes adequados à maior parte destes, pelo que o seu número também é elevado. Concretamente para a aplicação em transportadores em espiral, as correntes devem ter como principais características serem adequadas a trabalhar em curva e garantir a estabilidade dos produtos ao longo da subida. O processo de escolha de uma corrente apropriada para um transportador em espiral é descrita em detalhe na secção 3.3.

É também importante referir que existem correntes de construção integralmente metálica, inclusivamente nos elos. Acontece que estas soluções, além de mais pesadas, são mais propensas a danificar os produtos que transportam, pelo que só são utilizadas em aplicações mais extremas. Entre elas contam-se o transporte de produtos menos delicados, como minérios, ou a utilização a muito baixas temperaturas, como as existentes em câmaras de congelação. De um modo genérico são soluções pouco utilizadas, menos ainda em transportadores em espiral.



Figura 2-10 - Exemplo de uma corrente de um transportador sem corrente metálica [7].

Bandas Modulares

As bandas modulares são superfícies de transporte constituídas por uma malha de diferentes elementos ligados entre si. Estes elementos formam pequenos módulos que, além de darem o nome à superfície de transporte, são a unidade base desta solução, interligando-se entre si consecutivamente. Estas ligações são feitas em vários pontos, ao longo de toda a largura da banda, formando assim a referida malha, que se pode observar na Figura 2-10. Esta é a principal diferença face às correntes, onde os elos têm um único ponto de ligação entre si.

Existe igualmente uma grande diversidade de bandas modulares, também adaptadas a uma vasta gama de aplicações. As principais diferenças entre si são as características da malha, que pode variar a sua densidade (maiores ou menores espaços livres), resistência e material. Tal como no caso das correntes, as bandas modulares indicadas para transportadores em espiral devem garantir a capacidade de curvar e a estabilidade dos produtos quando inclinados. O processo de escolha de uma banda modular apropriada para um transportador em espiral também é descrita em detalhe na secção 3.3, na medida em que é o mesmo que para o caso da corrente.

Decidir entre a utilização de uma corrente ou de uma banda modular pode não ser óbvio e há diversas aplicações que ambas as soluções são válidas. No entanto há um grande fator diferenciador entre as duas opções: as bandas modulares, devido à sua construção em malha, conseguem atingir larguras superiores com maior facilidade. As correntes, com um único ponto de ligação entre elos, têm dificuldade em crescer para lá dos 300 mm, pois não são capazes de garantir fiabilidade e sustentação estável do produto. Neste sentido, é mais comum observar-se a utilização de bandas modulares para transportadores mais largos e de correntes para transportadores mais estreitos. O valor referido de cerca de 300 mm pode servir como indicador empírico da zona de transição.



Figura 2-11 – Imagem representativa de uma banda modular [8].

Referências de Mercado

No universo das superfícies de transporte, tal como no dos transportadores em espiral, há um grupo relativamente restrito de grandes fabricantes de referência mundial. No entanto, todos eles se destacam por possuírem ofertas abrangentes, seja no fornecimento de correntes ou de bandas modulares, ou até de outros produtos similares.

Habasit: a Habasit é uma empresa Suíça que produz maioritariamente aplicações em borrachas técnicas, como superfícies de transporte para transportadores (tapetes, correntes e bandas modulares), correias e cintas de transmissão de potência e perfis de escorregamento. Esta empresa é uma das principais referências na área, nomeadamente em termos de superfícies de transporte para transportadores. Possui um catálogo vastíssimo, com centenas de produtos para estes mecanismos, que cobrem quase todo o tipo de necessidades de mercado. Os seus produtos são tidos como de elevada qualidade, motivo pelo qual é uma das referências da área e se tornou um fornecedor e parceiro de longa data da JPM [9].

Rexnord: O grupo americano Rexnord é constituído por 4 empresas que formam duas grandes plataformas: Rexnord Power Transmissions e Rexnord Aerospace, que formam a plataforma "Process and Motion Control"; Zurn e VAG, que formam a plataforma "Water Management". No âmbito deste trabalho apenas é relevante a empresa Rexnord Power Transmissions, dedicada a soluções de transporte e transmissão de potência, como superfícies para transportadores industriais, acionamentos e redutores de engrenagens, rolamentos, correntes de transmissão, travões, embraiagens e diversos outros componentes. Concretamente no que a superfícies de transporte diz respeito, esta empresa possui mais de uma centena de soluções padrão em catálogo, o que aliado à boa qualidade dos produtos a torna uma das principais referências do mercado, a par da Habasit [10].

Movex: a Movex é uma empresa italiana dedicada ao fabrico de componentes para transportadores industriais, como superfícies de transporte, guias, suportes, rolamentos e outros produtos. O seu catálogo de superfícies de transporte não é tão vasto como o das empresas

anteriormente referidas, mas não deixa de ser bastante completo. Esta empresa, não tendo a importância de alguns concorrentes, posiciona-se como uma alternativa de qualidade e tem procurado desenvolver novos produtos para responder a necessidades existentes no mercado, como sejam correntes para transportadores em espiral [11].

3 Estudo do Transportador em Espiral Pretendido

3.1 Definição dos Objetivos Para o Transportador

A necessidade de projetar um transportador em espiral surge, tal como referido anteriormente, como resultado das condições de venda habituais destes mecanismos, custo e prazo de entrega elevados, aliadas àquilo que é o enquadramento temporal típico dos projetos da JPM. Sendo uma empresa focada na inovação e com capacidade de projeto considerável, fazia sentido procurar uma maior flexibilidade e autonomia na instalação das linhas que dimensiona diariamente. Para o conseguir havia que, antes do mais, definir concretamente em que moldes se deveria enquadrar o transportador a dimensionar. Nesse sentido, o projeto arrancou com a definição de um conjunto de objetivos de alto nível a que o novo produto deveria obedecer:

- Desenvolver uma série de transportadores elevatórios;
- Usar materiais do mercado que tenham um prazo de entrega menor do que 4 semanas;
- Ser líder no mercado na relação preço/qualidade;
- Ser de fácil construção.

Estes objetivos foram delineados propositadamente com uma abrangência elevada, com o intuito de lançarem as fundações para uma série de máquinas elevatórias, das quais esta dissertação constitui o primeiro passo. Foi então necessário procurar um conjunto de objetivos mais concretos que definissem as características e parâmetros de funcionamento do mecanismo em si. Isso implica conhecer um pouco melhor os processos cujas linhas a JPM instala mais correntemente.

Um dos maiores clientes da JPM pertence ao setor alimentar, pelo que uma grande percentagem dos transportadores da JPM são instalados em linhas de enchimento e embalagem de produtos deste género, como leite, sumo, água ou azeite. Este tipo de processos tem como inputs o produto alimentar e as embalagens em cartão, ainda espalmadas; e como output paletes completas de packs/“grupagens” (termo utilizado neste ambiente para grupos de embalagens) com a configuração pretendida pelo cliente final. As etapas percorridas pelas embalagens ao longo do processo dependem de vários fatores, como o produto alimentar ou a dimensão da embalagem, mas têm sempre o mesmo ponto de partida e chegada. Mesmo os processos bastante diferentes em termos de produtos ou embalagens, como as linhas de enchimento de detergentes, seguem, no geral, este padrão.

Neste contexto, os transportadores em espiral instalados pela JPM são geralmente utilizados para procederem à elevação das linhas para permitirem zonas de passagem ou para elevarem as grupagens para a altura de entrada de um paletizador convencional. Esta é uma máquina que empilha as grupagens em cima de uma paleta, para expedição, e constitui uma das últimas etapas do processo de fabrico. O seu método de funcionamento implica que os packs devem entrar pelo topo da máquina, saindo a paleta completa no fundo, como apresentado na Figura 3-1. A altura de entrada varia com a capacidade do paletizador, mas comumente encontra-se no intervalo entre os 2 e os 4 metros. Assim sendo, podem imediatamente ser definidas duas características do transportador em espiral da JPM: pensado para transportar grupagens e com altura de saída entre os 2 e os 4 metros. Os passos seguintes passam, pois, por investigar as características destes packs, assim como da altura de entrada do transportador.



Figura 3-1 – Paletizador convencional da empresa Premier Tech [12].

Relativamente às características das grupagens, o que faz sentido é dimensionar o mecanismo para a capacidade máxima, ou seja, para o pack maior ou mais pesado. Isso garante que o transportador a desenvolver será igualmente capaz de transportar todos os outros, mais leves ou mais pequenos. Para primeiro mecanismo deste género, esta opção comporta uma grande versatilidade ao adequar-se a todas as aplicações. No universo da JPM, o grupo de embalagens de maiores dimensões tem 600 x 400 mm, ou seja, é um quarto de palete (ver Figura 3-2). Para o caso das embalagens de 2 litros de capacidade, isto constitui 16 embalagens, o que equivale a sensivelmente 32 kg. Esta situação é relativamente rara, mas possível, pelo que se achou por bem definir a capacidade de carga do transportador para 50 kg/m, mas dividir a largura útil do transportador em duas gamas, uma com uma superfície de transporte mais estreita, com 300 mm e outra mais larga com 400 mm. Isto implicaria o desenvolvimento de dois transportadores diferentes, o que não viria a acontecer, como se verá mais à frente.

No que diz respeito à altura de entrada do transportador, esta depende da altura de funcionamento da restante linha, a montante. Tipicamente, as linhas funcionam a alturas que variam entre os 850 e os 1100 milímetros. Como consequência, definiu-se que o transportador em espiral haveria de ter a sua entrada a 1 metro de altura e assentar num conjunto de pés ajustáveis com 200 milímetros de curso. Esta solução permitiria cobrir a maior parte do intervalo e garantir alguma flexibilidade ao mecanismo.

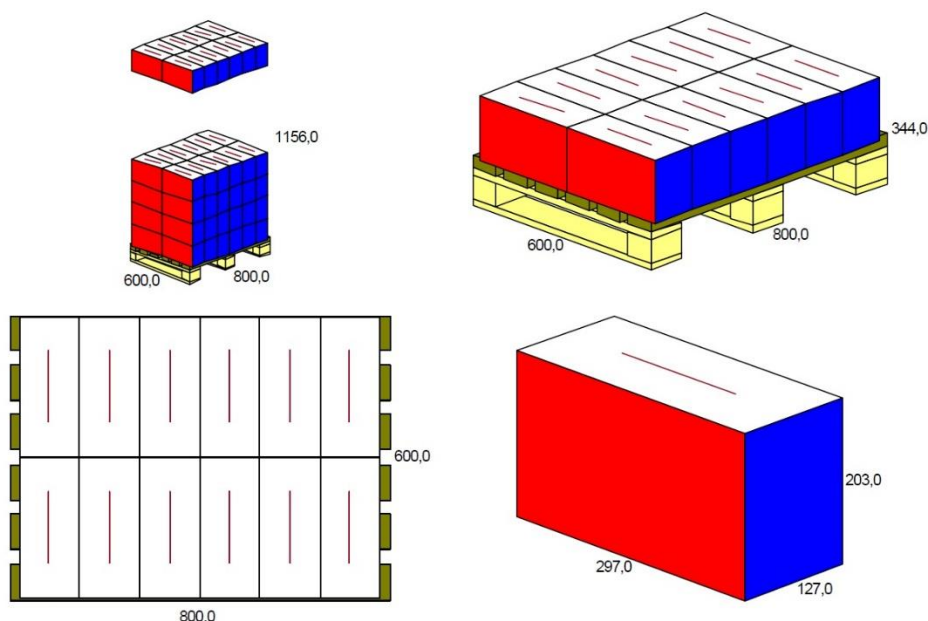


Figura 3-2 – Esquema de apresentação de uma grupagem de meia paleta. A grupagem máxima considerada para o transportador a dimensionar foi de um quarto de paleta.

A velocidade de funcionamento do transportador em espiral foi definida em concordância com a dos restantes transportadores das linhas, mais concretamente no intervalo de 15 a 20 m/min. Por sua vez para a pendente foi delineado um valor orientativo, na ordem dos 10°, tendo como base os valores correntes neste tipo de transportadores. Por último, mesmo tendo em consideração que dependeria de outros fatores ainda por determinar, foi apontado um raio de curvatura de 450 mm para o transportador, o que resultaria num atravancamento de cerca de 1300 mm.

Este conjunto de parâmetros, resumidos na Tabela 3-1, formaram então aquilo que foram as linhas mestras do transportador em espiral desenvolvido durante este projeto. Este foi batizado de TEG – Transportador Espiral de Grupagens, sigla com que doravante será referido. Estes parâmetros foram utilizados ao longo do trabalho como objetivos a perseguir, mesmo se sempre permitindo os ajustes necessários decorrentes de um trabalho de projeto, desde que não comprometendo a filosofia e a finalidade da máquina.

Tabela 3-1 – Parâmetros inicialmente definidos para o TEG

Parâmetro	Unidade	Valor
Altura de Entrada	[mm]	1000
Altura de Saída	[mm]	Entre 2000 e 4000
Carga Máxima	[kg/m]	50
Largura da Superfície de Transporte	[mm]	300 ou 400
Velocidade de Funcionamento	[m/min]	De 15 a 21
Pendente	[°]	10
Raio de Curvatura	[mm]	450
Atravancamento	[mm]	1300

3.2 Estudo dos Fornecedores da JPM

Sendo esta Dissertação um trabalho realizado numa empresa, naturalmente que obedece ao método tradicional de projeto que existe no seu seio. No caso da JPM, antes de se avançar com o projeto mais rigoroso e detalhado de uma máquina, deve averiguar-se a exequibilidade da mesma, preferencialmente recorrendo apenas aos fornecedores convencionais da empresa. Assim, após terem sido definidos os parâmetros-objetivo do transportador houve necessidade de proceder a uma análise detalhada dos fornecedores da JPM, por forma a reunir as condições necessárias para prosseguir o projeto.

Uma máquina como o TEG é abrangente em termos de fornecedores, pelo que estes serão agrupados em 3 categorias:

- Fornecedores Estruturais, dedicados ao fornecimento de matérias-primas utilizadas na construção da estrutura do mecanismo;
- Fornecedores da Superfície de Transporte, dedicados ao fornecimento da corrente ou banda modular para o TEG;
- Outros Fornecedores.

Fornecedores Estruturais

Como estudado no capítulo anterior, a estrutura de um transportador em espiral é tipicamente uma construção metálica, realizada a partir de tubos, perfis ou chapas. Para obter este tipo de matérias-primas, a JPM recorre preferencialmente a fornecedores da sua área geográfica, tais como a Ferpinta ou a Portugal Alves. Ambas as empresas foram contactadas, tendo a Ferpinta sido mais solícita a fornecer dados sobre os seus produtos, nomeadamente o catálogo atualizado e a tabela de preços. Assim, todos os dados relativos a tubos ou perfis de aço utilizados durante o trabalho tiveram como referência os valores da referida empresa. Estes valores são meramente indicativos e necessitarão sempre de verificação futura, aquando da fabricação.

Fornecedores da Superfície de Transporte

Tal como no caso das matérias-primas para a estrutura do transportador, também para a superfície de transporte a JPM tem fornecedores habituais. Os restantes transportadores da empresa são habitualmente equipados com correntes ou bandas modulares de fabricantes como a Intralox, Habasit, Rexnord ou Ammeraal Beltech, alguns dos quais descritos previamente. Foi inicialmente junto destes quatro fornecedores que se iniciou a procura de uma superfície de transporte adequada aos objetivos propostos para o TEG.

Acontece que, ao contrário do que fora previamente suposto, uma superfície de transporte para um transportador em espiral não é um produto padrão, existente nos catálogos destas empresas. Esta dificuldade implicou que os contactos com este grupo de fornecedores foram extensos na procura de opções alternativas e alargados a outras empresas, como a Movex ou a Regina. No final acabou por ser a Rexnord o fornecedor selecionado, no culminar de um processo de procura descrito com maior detalhe na secção 3.3.

Outros Fornecedores

Para este projeto foram ainda definidos mais dois fornecedores de relevo, concretamente os fornecedores do acionamento elétrico, a SEW – Eurodrive; e dos perfis de deslizamento utilizados no mecanismo, a Habasit.

Relativamente ao primeiro, trata-se de uma das referências do mercado na área e um dos fornecedores principais da JPM. A empresa utiliza diariamente acionamentos deste fornecedor, pelo que faz sentido o TEG seguir o mesmo princípio. Assim, na altura de escolher um motorreductor adequado à aplicação em questão, foi ao catálogo e experiência deste produtor que se recorreu.

No que aos perfis de deslizamento diz respeito, a oferta é mais ampla, pelo que vários fornecedores poderiam ter sido considerados. A escolha da Habasit como referência resultou da existência de um contacto de longa data com a JPM, que inclui já algumas parcerias de desenvolvimento de novos mecanismos, um pouco como o TEG. Existe, portanto, uma relação de confiança que levou a que, na necessidade de escolher uma referência com que basear a escolha de perfis de deslizamento, se utilizasse o catálogo desta empresa.

3.3 Escolha da Superfície de Transporte

A escolha da superfície de transporte a utilizar no TEG foi um ponto essencial no processo de desenvolvimento do mecanismo. Como a JPM não tem capacidade para produzir este tipo de componentes, o transportador teria obrigatoriamente que ser dimensionado tendo em consideração uma solução existente no mercado. Essa solução teria que ser escolhida previamente à conceção do restante mecanismo para garantir o correto funcionamento de ambos. Assim, antes de proceder a qualquer trabalho de projeto, foi necessário realizar um trabalho de seleção da superfície de transporte que veio a ser utilizada no mecanismo.

Como foi referido no ponto anterior, a procura de uma superfície de transporte para o TEG, fosse ela uma corrente ou banda modular, foi dificultada pela não existência de soluções adequadas no mercado. Ao contrário do que se antecipava, a ideia de optar por um produto imediatamente disponível não foi possível. Houve necessidade de alargar o espectro de busca, quer em termos de fornecedores quer em termos de produto pretendido, para alcançar a corrente na base do qual o restante mecanismo foi dimensionado.

A falta de oferta de soluções para transportadores em espiral deve-se principalmente a um fator: os fabricantes de transportadores em espiral, para a maioria dos produtos que vendem, por vezes mesmo para todos, desenvolvem as suas próprias correntes ou bandas modulares. Assim, quando um cliente pensa em comprar um transportador desse género tem de imediato um pacote completo e fica, daí em diante, apenas dependente de um único fornecedor para questões técnicas e de manutenção. Além disso, este método de trabalho permite gerar mais valor acrescentado para os fabricantes, assim como mantém a sua vantagem competitiva. As soluções que desenvolvem são patenteadas e, deste modo, impossíveis de copiar, pelo que não aparecem outras correntes ou bandas modulares compatíveis com os seus transportadores.

Acresce ainda o facto de os transportadores em espiral serem equipamentos caros e por vezes menos aplicados do que outros equipamentos alternativos, pelo que não existem muitas empresas a proporem novas soluções destas. Assim, os fabricantes de superfícies de transporte, mesmo os líderes mundiais, dificilmente têm mercado suficiente para justificar o desenvolvimento e produção de uma superfície de transporte adequada a este tipo de transportadores.

Consequentemente, a possibilidade de idealizar um transportador em espiral com um dado conjunto de características e escolher uma corrente ou banda modular já existente que se lhe adequasse ficou frustrada. Foi necessário alargar o espectro de busca a fornecedores menos comuns, assim como ponderar a possibilidade de utilizar uma superfície de transporte já existente, mesmo que construída com outro propósito. A segunda hipótese acabou por se revelar inexequível devido a um conjunto de motivos, requeridos para as correntes ou bandas modulares utilizadas em transportadores em espiral e que não são cumpridas, em simultâneo, pelas restantes opções:

Motivo I - Capacidade de curvar: Este não é propriamente um motivo de rejeição de uma superfície de transporte, antes um pré-requisito na sua escolha. No entanto, nem todas as soluções existentes no mercado que permitem curvar são capazes de trabalhar em curva constante, muitas delas são apenas aconselhadas para curvas de 90° ou 180° de cada vez, não servindo portanto para 2 x 360°, por exemplo. Além disso, é necessário ter em atenção o raio mínimo de curvatura de cada corrente ou banda modular, face à sua largura. As exigências de um transportador em espiral são de um raio relativamente apertado, por forma a ser o mais compacto possível. Superfícies com um raio mínimo de curvatura elevado, face à sua largura, como a representada na Figura 3-3, são excluídas por tornarem o transportador impraticável.

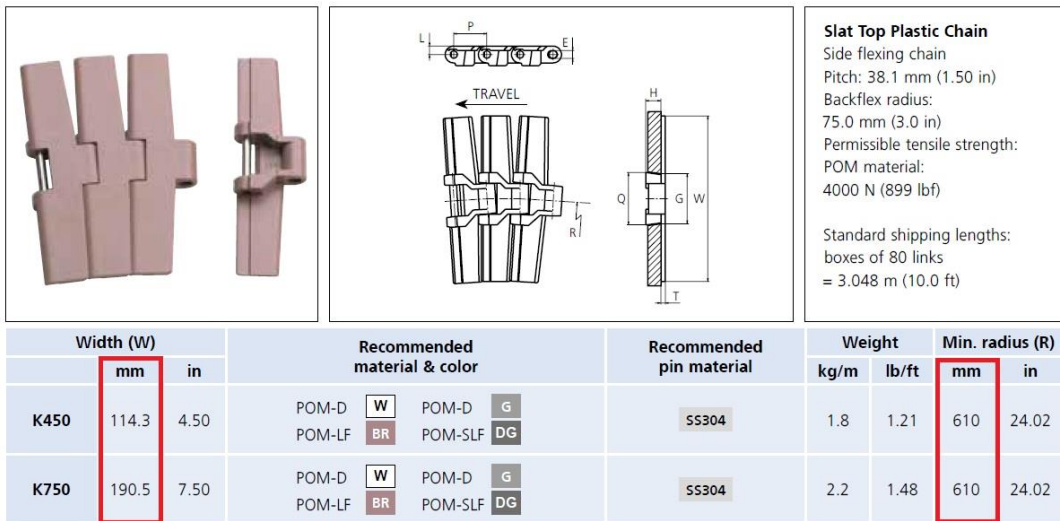


Figura 3-3 – Exemplo da relação de raios de uma corrente (adaptado de [13]).

Motivo II - Capacidade de carga: Este motivo é o mais complexo e responsável pela rejeição da maioria das opções existentes. Cada corrente ou banda modular tem um valor máximo de esforço de tração que tem que ser respeitado. Dada a inclinação do transportador em espiral, a carga a transportar tem uma grande influência na solicitação da superfície de transporte, assim como têm o peso próprio da corrente e ainda o atrito entre esta e a estrutura onde se desloca. Acresce ainda o facto de este esforço ser aplicado em curva, solicitando a superfície numa direção que não corresponde à sua maior resistência. A problemática do atrito é particularmente crítica, na medida em que está presente em todo o transportador e é difícil de estimar – apenas um ensaio prático é verdadeiramente conclusivo. São estas as razões que levam a que os transportadores em espiral possuam habitualmente correntes metálicas com rolamentos, reduzir o atrito e aumentar o esforço máximo admissível. A partir de determinado valor de carga está é a única solução válida. Neste sentido, qualquer solução que fuja deste padrão fica aquém do objetivo estabelecido de trabalhar com 50 kg/m de carga, valor que não deve ser comprometido.

Motivo III - Dimensões: A questão dimensional é igualmente de extrema importância, pois dela depende o propósito do transportador. Como o objetivo é mover grupagens, não faz sentido

escolher uma superfície de transporte onde estas não caibam, daí as opções por 300 a 400 mm de largura. Acontece que não são muitas as correntes que alcançam esta largura, a maior parte é significativamente mais estreita. Mesmo as que chegam aos 300 mm não costumam ultrapassar as 12" (304,8 mm) [7], [8], [13]. Isto limita significativamente as escolhas possíveis. Por sua vez, as bandas modulares costumam ser mais largas, atingindo com mais facilidade os valores pretendidos, mas costumam ser condicionadas por outros fatores, sobretudo os descritos no Motivo II.

Motivo IV - Atrito superfície/produto: Raramente foi possível chegar até esta consideração durante a procura de alternativas, a maioria das superfícies de transporte revelou-se inadequada ainda nos pontos anteriores, mas não é por isso que este motivo perde importância. É essencial garantir que, durante a subida, os produtos transportados não escorregam ou se desequilibram. Para isso, é preciso encontrar um equilíbrio entre a pendente da subida, a velocidade, a carga a transportar e o atrito entre o produto e a superfície de transporte. Como as três primeiras variáveis estão condicionadas pelas necessidades do cliente, é necessário garantir que a quarta garante o pretendido. Sendo as superfícies de transporte fabricadas em diversos materiais poliméricos, podem ter valores de coeficientes de atrito muito diferentes, por vezes inferiores ao pretendido. Há a possibilidade em muitas soluções de superfícies de transporte de optar por uma superfície com insertos de borracha para aumentar o atrito. Esta solução é adequada para casos mais extremos e não está disponível em todas as correntes ou bandas modulares, mas pode ser crítica nos transportadores em espiral. Assim, este motivo poderá ser impeditivo, dependendo de cada caso, pelo que é prudente analisá-lo para garantir a adequação da superfície pretendida às necessidades definidas.

Após sucessivas reuniões com fornecedores, ficou claro que uma solução alternativa aplicada diretamente não seria solução para o problema, pelas questões acima mencionados. Houve então necessidade de se alargar a procura da superfície de transporte a soluções menos convencionais. Esta busca mais abrangente acabou por se revelar frutífera, levando ao contacto com 3 soluções de 3 fornecedores diferentes, todas elas em fase inicial de comercialização - duas delas, as da Movex e da Regina, encontravam-se em catálogo havia menos de um mês e ainda não estavam disponíveis para entrega; ao passo que a da Rexnord não se encontrava de todo disponível ao público. Tratam-se de correntes construídas especificamente para transportadores em espiral, com corrente metálica e rolamento e de construção e características similares, como se pode observar na Tabela 3-2 e nas imagens ilustradas na Figura 3-4 e na Figura 3-5. As 3 hipóteses, dada a sua juventude, não apresentavam dados disponíveis e os contactos com os fornecedores foram difíceis e demorados. A corrente da Regina acabou mesmo por ser preterida por falta de resposta do fornecedor.

Tabela 3-2 – Comparação entre as características das diferentes correntes possíveis.

Parâmetro	Unidade	Rexnord 2884 SpiralTop – NIM	Movex SP 1883 GT	Regina FLITETOP 1883 Series
Largura	[mm]	457,2	381	457,2
Espessura	[mm]	16,5	9	15
Raio Mínimo de Curvatura	[mm]	736,6	711	650
Passo da Corrente Metálica	[mm]	25,4	25,4	25,4
Esforço Normal Máximo	[N]	9789,43	4500	6500
Peso da Corrente	[kg/m]	7,44	13	7,3
Material	-	<i>Nylon Impact Modified</i>	<i>Low Friction Acetal</i>	<i>POM Delrin</i>
Insertos de Borracha	-	Sim	Sim	Não
Preço	[€/m]	227,45	235,2	-
Prazo de Entrega	[semanas]	5 a 6	-	-

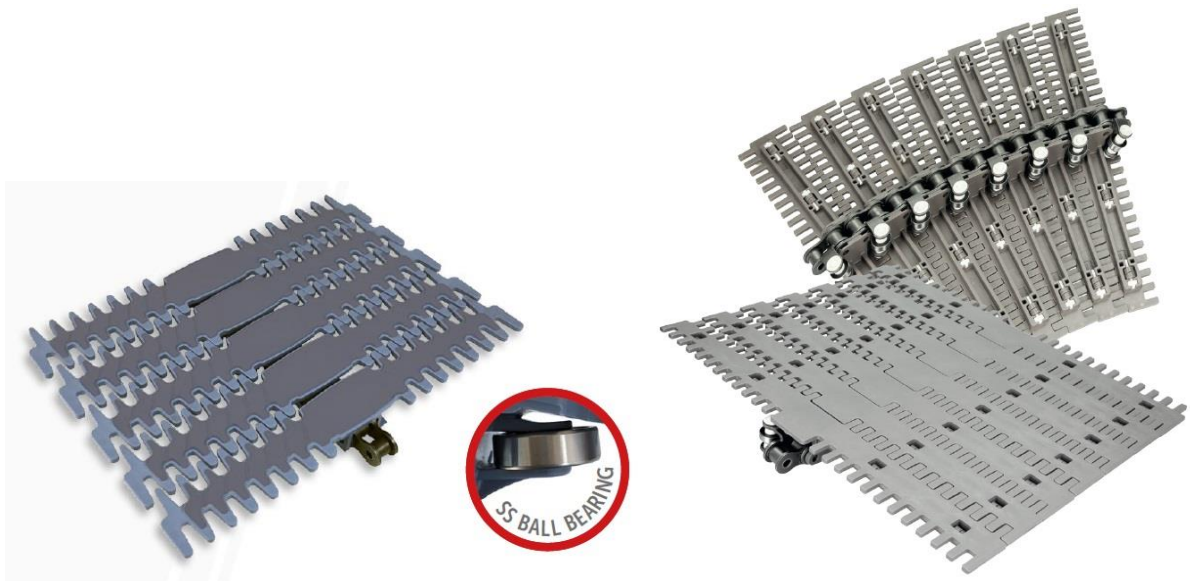


Figura 3-4 – Imagens de catálogo das correntes da Movex (esquerda) e da Regina (direita). Adaptado de [13] e [14].

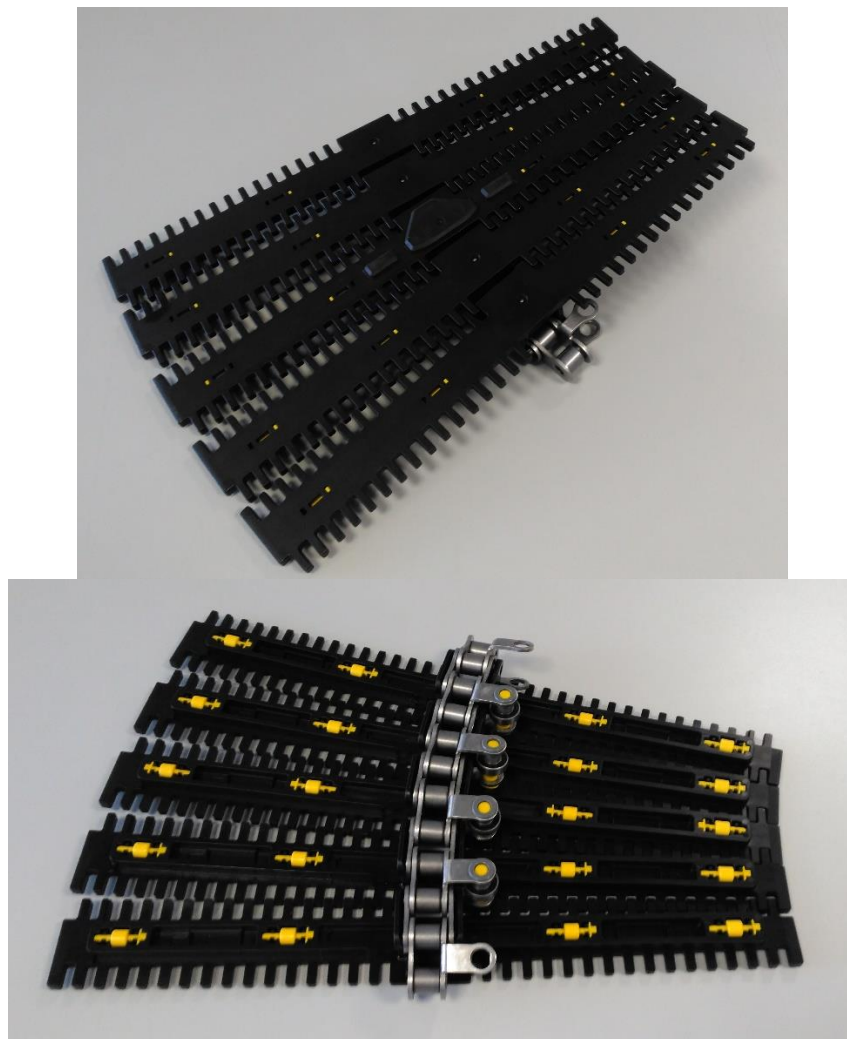


Figura 3-5 – Fotografias da corrente da Rexnord.

A solução final teria que sair de uma das duas opções restantes, pelo que foi necessário comparar as respetivas vantagens e desvantagens de cada uma para chegar a um veredicto final. A corrente da Rexnord é mais robusta mecanicamente, em boa medida devido a ter a montagem do rolamento diretamente na corrente metálica. Esta solução construtiva permite-lhe suportar um maior esforço de tração. Tem também roletes na sua face inferior, o que permite reduzir o atrito com a estrutura do transportador, diminuindo assim o desgaste e o consumo energético globais. Em contrapartida, a sua geometria não impede a possibilidade de as tiras tipo *snap* rodarem em torno do eixo da corrente.

Por sua vez, a corrente da Movex é mais pesada mas menos robusta. A montagem dos rolamentos é feita por encaixes poliméricos, assentes nas tiras tipo *snap*, o que lhe confere menores propriedades mecânicas. No entanto, apresenta insertos de borracha em todas as tiras, ao contrário da concorrente. Além disso, a sua construção do tipo *bevel*, conferida pela inclinação do rolamento, impedem a rotação das tiras ao longo do eixo da corrente, garantindo assim melhor posicionamento das mesmas durante o funcionamento.

De um ponto de vista puramente mecânico, a corrente da Rexnord parecia levemente superior, mas não decisivamente. No entanto, o processo de escolha é mais abrangente do que apenas a consideração dos parâmetros técnicos e, nesse campo, a Rexnord foi sempre mais solícita a esclarecer dúvidas relacionadas com o produto, fossem detalhes de funcionamento ou o método de expedição. Além disso, este produto que agora vendem foi na verdade desenvolvido para uma empresa americana, tendo trabalhado durante 5 anos em regime exclusividade, pelo que já existe a experiência necessária para orientar a conceção de um novo mecanismo em torno da corrente. Pelo contrário, a Movex apresentou dificuldades em explicar como haveria de funcionar o seu produto.

Considerando que a Rexnord apresentou também um preço mais baixo, a escolha acabou por incidir sobre esta opção.

3.4 Definição do Protótipo

Uma vez devidamente definidos os fornecedores da JPM utilizados durante o trabalho, assim como escolhida a superfície de transporte e averiguada a possibilidade de obter outros componentes chave num transportador em espiral, havia que definir um protótipo a dimensionar. Este constituiria a primeira concretização do TEG, simultaneamente respeitando as características pretendidas para esta gama de transportadores enquanto cumpria as necessidades de uma aplicação em concreto.

O protótipo a dimensionar no âmbito desta dissertação foi definido com base num transportador já existente. Esse transportador trata-se de um AmbaFlex que a JPM integrou durante o ano de 2016 e foi escolhido como referência para permitir uma comparação direta entre ambos. Sendo o protótipo definido com o mesmo conjunto de características chave, é possível avaliar o desempenho do TEG, uma vez construído, diretamente contra um rival. Questões como o custo de produção, gastos energéticos, necessidades de manutenção ou eficiência global podem ser diretamente relacionados, dada a semelhança das máquinas. Assim, o protótipo TEG a conceber apresenta as características apresentadas na Tabela 3-3, baseadas nas características do transportador em espiral da AmbaFlex apresentado na Figura 3-6, que se encontram no Anexo A.

Tabela 3-3 – Tabela de definição de características do TEG.

Parâmetro	Unidade	Valor
Altura de Entrada	[mm]	1100
Altura de Saída	[mm]	2800
Carga Máxima	[kg/m]	50
Largura da Superfície de Transporte	[mm]	457,2
Velocidade de Funcionamento	[m/min]	21
Pendente	[°]	8,7
Raio de Curvatura	[mm]	736,6
Atravancamento	[mm]	1930

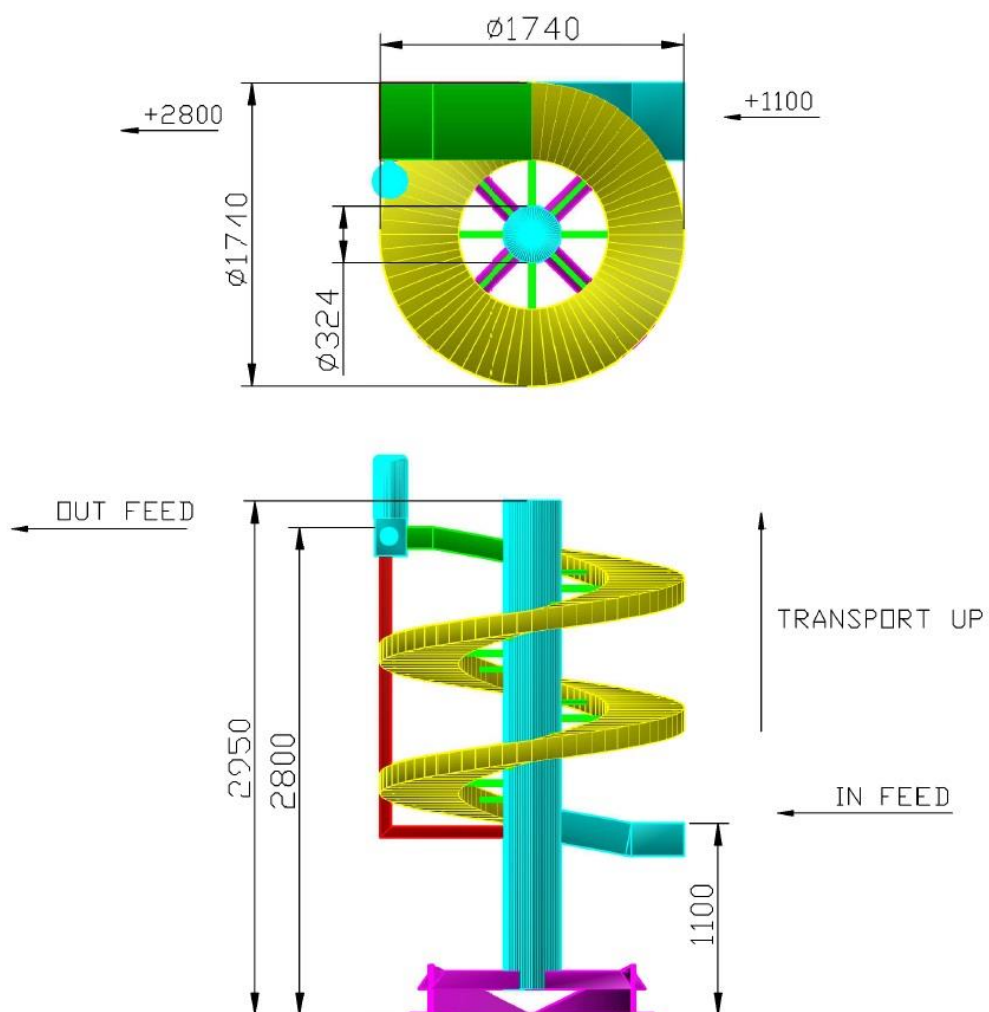


Figura 3-6 – Esquema construtivo do transportador da AmbaFlex na qual o protótipo do TEG foi baseado.

4 Dimensionamento da Solução Proposta

Uma vez devidamente definido o protótipo a desenvolver, é altura de apresentar o seu processo de conceção e dimensionamento. A linha condutora deste capítulo será semelhante à que ocorreu durante o trabalho:

- i) Conceção da estrutura principal do mecanismo;
- ii) Estudo das calhas de transporte e guiamento da corrente (que inclui considerações sobre os perfis de escorregamento);
- iii) Cálculo do acionamento e definição de veios;
- iv) Conceção dos restantes componentes do transportador.

Serão apresentados os cálculos necessários ao dimensionamento de cada módulo ou componente do transportador, devidamente acompanhados dos desenhos 2D ou 3D relevantes para a compreensão do mesmo. Serão também apresentadas as considerações de fabrico ou montagem tidas em conta, sempre que tal for aplicável. É de notar que os cálculos em questão serão maioritariamente relativos àquilo que foi a solução adotada, tratando-se esta de uma das várias iterações efetuadas tipicamente no processo de projeto, aquela que revelou ser globalmente o melhor compromisso entre as variáveis em causa.

4.1 Conceção da Estrutura Principal do TEG

Principalmente por motivos de higiene, a JPM manifestou interesse em que a estrutura do TEG fosse tubular, obtida por construção soldada. Como uma quantidade razoável destes mecanismos terá a sua aplicação em empresas do ramo alimentar, a redução de zonas de acumulação de lixo e a facilidade de limpeza são duas características a ter em conta ao longo da conceção dos mesmos. Desse ponto de vista, uma construção em perfis é uma solução menos vantajosa, pelo que foi posta de parte.

No que diz respeito ao fabrico, a JPM tem capacidade para executar uma construção integralmente soldada, pelo que foi esse o rumo seguido. Assim, optou-se por idealizar uma estrutura constituída por uma coluna central tubular, de onde saem braços horizontais, igualmente tubulares. No fundo, tudo assenta em dois tubos quadrados dispostos em cruz. Este tipo de estrutura, que se pode observar na Figura 4-1, é bastante semelhante ao conceito utilizado pela AmbaFlex, nomeadamente no transportador utilizado como referência para o protótipo.

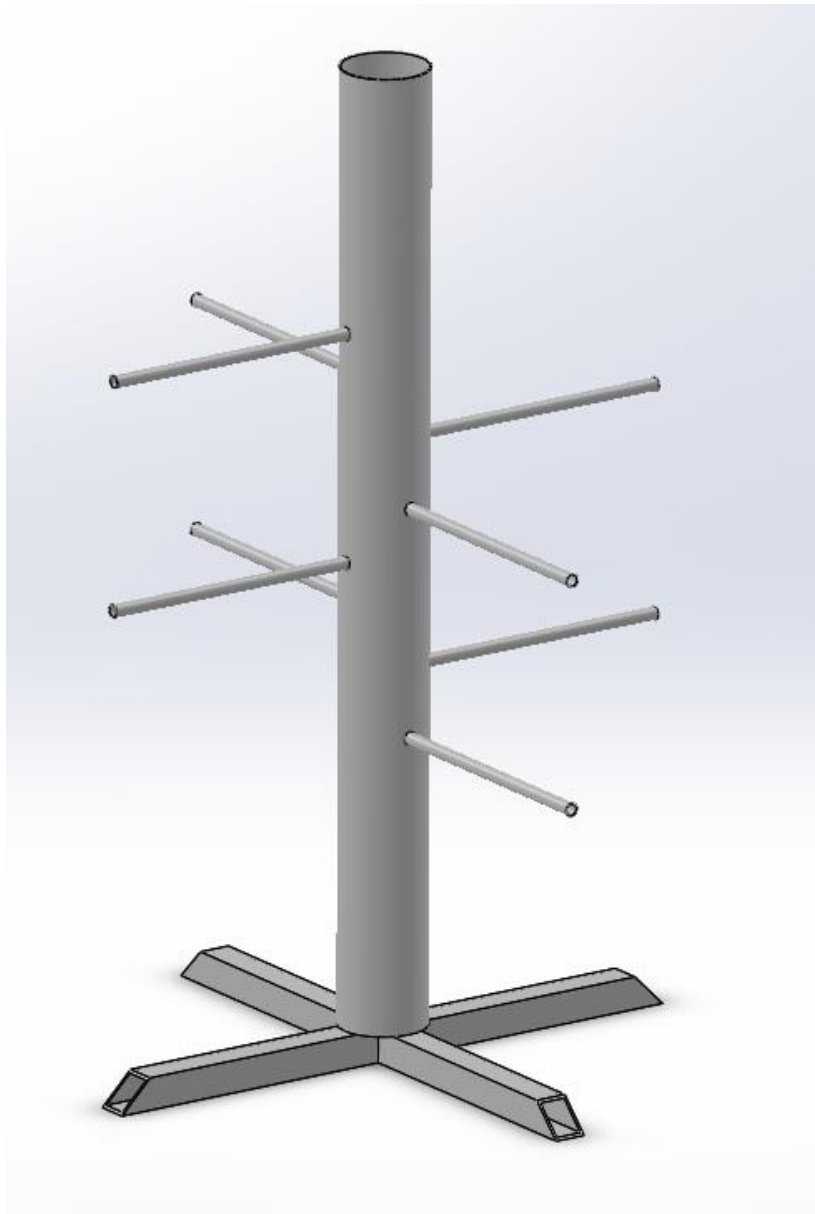


Figura 4-1 - Esquema do tipo de estrutura pretendido para o TEG

Em termos de resistência mecânica, de um ponto de vista estático, esta estrutura deve ser avaliada em três pontos: a flexão e encurvadura da coluna central e a flexão dos braços horizontais.

Encurvadura da Coluna Central

O primeiro passo para efetuar este cálculo é definir a altura da coluna. De acordo com a Figura 3-6, a altura do transportador deverá ser de 2950 mm, pelo que igualmente será este o valor considerado para este componente. Para os valores do diâmetro e espessura foram considerados 273 mm e 4 mm, respetivamente. As características deste tubo, segundo o catálogo da Ferpinta [15], estão apresentadas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Tabela de propriedades do tubo utilizado na coluna do TEG [15].

Parâmetro	Unidade	Valor
Altura da coluna	mm	2950
Diâmetro da coluna	mm	273
Espessura da coluna	mm	4
Área da secção	cm ²	33,79
Raio giração da coluna	cm	9,51
Segundo momento de área	cm ⁴	3056,70
Módulo de resistência à flexão	cm ³	223,93
Massa da coluna	kg/m	23,7

Para a determinação da carga a que a coluna estará sujeita é preciso considerar, além do peso próprio, a massa da corrente e a massa das embalagens. A massa dos restantes componentes metálicos, como os braços horizontais ou outros, ainda não se encontra definida, pelo que se deve considerar uma folga para os acomodar. Para obter o valor da carga é necessário proceder a um conjunto de cálculos, tendo como base os parâmetros do transportador definidos anteriormente.

A massa total da coluna, M_{Col} , é dada pela equação (4.1),

$$M_{Col} = H_{Col} * m_{Col} \leftrightarrow \quad (4.1)$$

$$\leftrightarrow M_{Col} = \frac{2950}{1000} * 23,70 = 69,92 \text{ kg} \quad (4.2)$$

Onde:

H_{Col} é a altura do transportador e

m_{Col} é a massa do tubo da coluna por metro.

Por sua vez, a massa total da corrente, M_C , é dada pela equação (4.3),

$$M_C = L_C * m_C \quad (4.3)$$

Onde:

L_C é o comprimento total da corrente e

m_C é a massa da corrente por unidade de comprimento.

Por sua vez, o valor do comprimento total da corrente é obtido através de um maior conjunto de parâmetros,

$$L_C = N * l_V + El + 2 * D_T \quad (4.4)$$

Onde:

N é o número de voltas do transportador,

l_V é o comprimento de cada volta,

El é a elevação do transportador e

D_T é o diâmetro exterior do TEG.

Este valor resulta da consideração de que a entrada e saída do transportador se situam numa posição tal que a distância entre ambas é aproximadamente igual ao diâmetro do transportador. A isto se somam os comprimentos das curvas e dos retornos horizontal e vertical. Este raciocínio pode ser validado pela Figura 4-2.

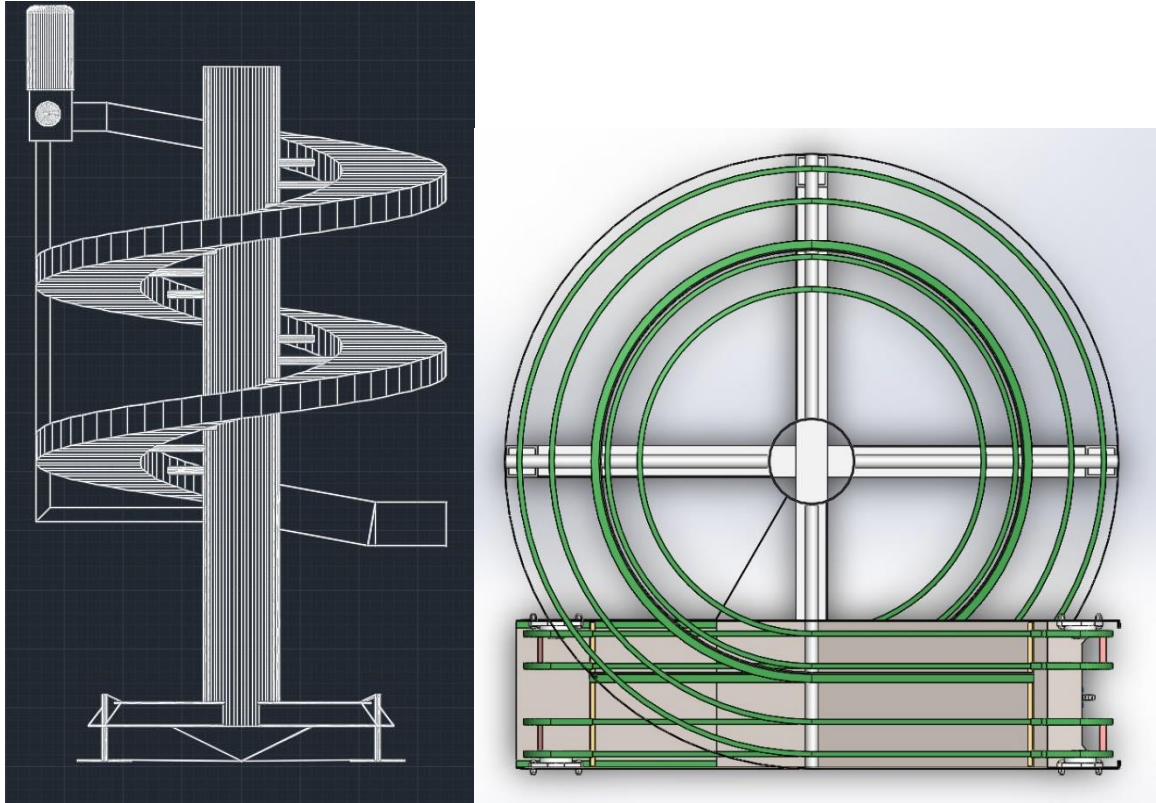


Figura 4-2 – Esquemas de demonstração da relação entre o diâmetro do transportador e a distância entre a entrada e saída.

Os valores de N e El já são conhecidos e correspondem a 2 voltas e 1700 mm, respetivamente. Para o valor de D_T considerou-se

$$D_T = D_{Col} + 2 * l_B \leftrightarrow \quad (4.5)$$

$$\leftrightarrow D_T = 273,00 + 2 * 828,70 = 1930,40 \text{ mm} \quad (4.6)$$

Onde:

l_B é o comprimento dos braços horizontais da estrutura. A sua justificação pode ser encontrada na secção dedicada à flexão dos braços horizontais.

Falta apenas conhecer o comprimento de cada volta, que é obtido na equação (4.7), a partir do ângulo de inclinação do transportador, Ang ,

$$l_V = \frac{2 * \pi * R_c}{\cos(Ang)} \leftrightarrow \quad (4.7)$$

$$\leftrightarrow l_V = \frac{2 * \pi * 736,60}{\cos(8,70^\circ)} = 4682,07 \text{ mm} \quad (4.8)$$

Assim, resulta que

$$L_C = 14924,93 \text{ mm} \quad (4.9)$$

e

$$M_C = \frac{14924,93}{1000} * 7,44 = 111,04 \text{ kg} \quad (4.10)$$

Para o cálculo da massa total de embalagens, M_E , que o transportador carrega em situação de carga máxima, é necessário saber de antemão qual o comprimento útil do transportador, assim como a distância entre embalagens. Para o primeiro ponto, basta considerar no raciocínio anterior a não existência de retorno, seja ele horizontal ou vertical. Para o segundo ponto, a experiência acumulada na JPM indica que 1 metro é um valor razoável para considerar como intervalo entre embalagens consecutivas. Assim, pode considerar-se como 1600 mm o espaço total ocupado por cada embalagem, de acordo com a Figura 4-3.

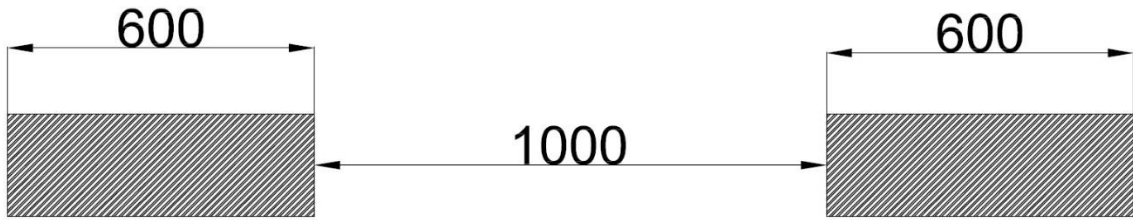


Figura 4-3 – Esquema dos posicionamentos relativos das grupagens no transportador.

Deste modo, resulta

$$L_{Cutil} = N * l_V + D_T = 11294,53 \text{ mm} \quad (4.11)$$

e

$$M_E = \frac{L_{Cutil}}{1600} * m_E \approx 350 \text{ kg} \quad (4.12)$$

Onde m_E é a massa de cada embalagem individual, que corresponde a 50 kg. Considerou-se para o cálculo um valor inteiro de embalagens.

Assim, a carga total a que a coluna estará sujeita é dada por

$$M_{Tcol} = M_{Col} + M_C + M_E \leftrightarrow \quad (4.13)$$

$$\leftrightarrow M_{Tcol} = 69,92 + 111,04 + 350 = 530,96 \text{ kg} \quad (4.14)$$

Para determinar se a peça está em risco de encurvadura, é necessário calcular a tensão atuante, σ_{Sd} , que é dada pela expressão

$$\frac{\sigma_{Sd}}{SF} = \frac{N_{Sd}}{A \cdot \varphi} \quad (4.15)$$

Onde:

N_{Sd} é o valor de cálculo do esforço normal atuante,

A é a área da secção transversal da barra,

φ é o coeficiente de encurvadura, dependente do coeficiente de esbelteza λ da barra.

O valor do coeficiente de esbelteza é dado por

$$\lambda = \frac{\text{comprimento de encurvadura}}{\text{raio de giração da secção transversal}} \quad (4.16)$$

O raio de giração da secção do tubo é uma propriedade do mesmo, apresentado na Tabela 4-1. Por sua vez, o comprimento de encurvadura depende das condições de fronteira da coluna. Neste caso, dado que a coluna se encontra soldada a um apoio no fundo pode ser considerada encastrada nessa extremidade. Pelo contrário, no topo a coluna não tem nenhum apoio que a restrinja, encontrando-se livre. Assim, de acordo com a tabela da Figura 4-4, esta situação corresponde ao caso e), pelo que o comprimento de encurvadura será igual a duas vezes o comprimento da coluna. Deste modo, resulta a equação (4.17).

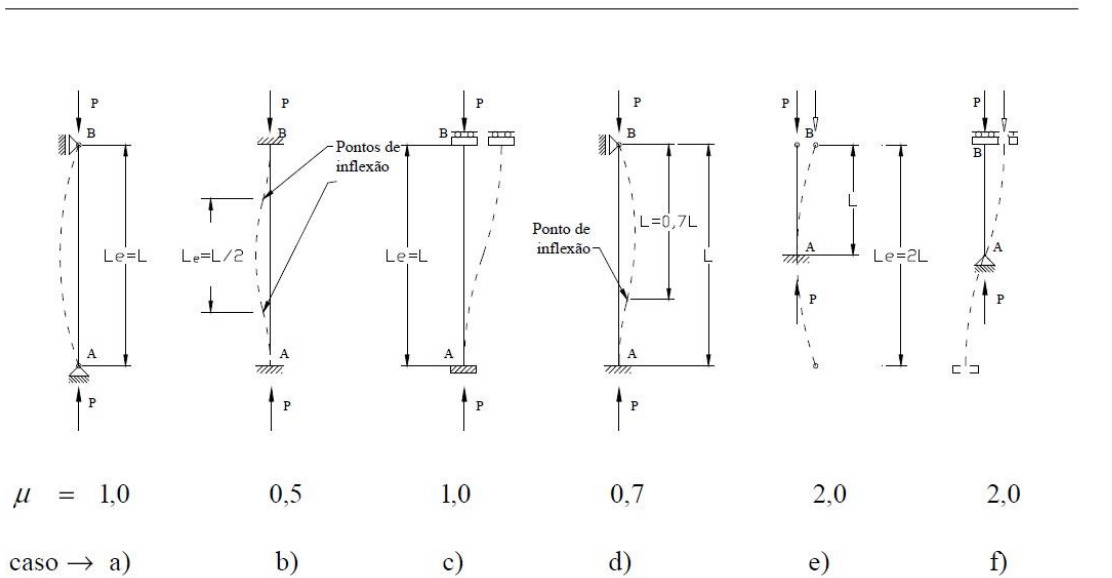


Figura 4-4 – Tabela que relaciona o comprimento de encurvadura de uma coluna com as suas condições de fronteira (adaptado de [16]).

Tipo de Aço	Coefficiente de esbelteza λ	Coefficiente de encurvadura φ
Fe 360	$\lambda \leq 20$	$\varphi = 1$
	$20 < \lambda \leq 105$	$\varphi = 1,1328 - 0,00664 \lambda$
	$\lambda > 105$	$\varphi = \frac{4802}{\lambda^2}$
Fe 430	$\lambda \leq 20$	$\varphi = 1$
	$20 < \lambda \leq 96$	$\varphi = 1,1460 - 0,00730 \lambda$
	$\lambda > 96$	$\varphi = \frac{4103}{\lambda^2}$
Fe 510	$\lambda \leq 20$	$\varphi = 1$
	$20 < \lambda \leq 85$	$\varphi = 1,1723 - 0,00862 \lambda$
	$\lambda > 85$	$\varphi = \frac{3179}{\lambda^2}$

Figura 4-5 – Tabela indicativa da relação entre os coeficientes de encurvadura e esbelteza para 3 tipos de aço (adaptado de [16]).

$$\lambda = \frac{2 * 2950}{95,1 * 10^{-3}} = 62,04 \quad (4.17)$$

A relação entre o coeficiente de esbelteza e o coeficiente de encurvadura é dada pela tabela da Figura 4-5 para três aços diferentes. No catálogo da Ferpinta, o preço dos tubos de aço em Fe 360 (S235JRH) e em Fe 430 (S275J0H) é o mesmo, pelo que se optou pelo de maior tensão de cedência [15]. Deste modo, como $\lambda = 62,04$,

$$\varphi = 1,1460 - 0,00730 * \lambda \leftrightarrow \quad (4.18)$$

$$\leftrightarrow \varphi = 0,6931 \quad (4.19)$$

Como os valores da área e do esforço normal são já conhecidos, é então possível voltar à equação (4.15), de onde resulta que

$$\sigma_{sd} = \frac{530,96 * 9,81 * 1,5}{0,003379 * 0,6931} = 3,34 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

Este valor de tensão atuante é bastante inferior à tensão de cedência do aço, de 275 MPa, pelo que a questão da encurvadura não será um problema neste componente, mesmo tendo em consideração a carga adicional advinda dos componentes metálicos não considerados. A escolha do tubo da coluna poderia então ser repensada, optando por uma solução de menor diâmetro por exemplo, mas tal levantaria problemas noutros fatores, como se verá na secção “Flexão dos Braços Horizontais”. Além disso, é expectável que o diâmetro da coluna não seja calculado novamente para cada nova especificação de transportador, convém que a coluna selecionada possa trabalhar com transportadores de maior dimensão que eventualmente surjam. A título de exemplo, para as condições de carregamento descritas e um λ máximo de 180, a coluna selecionada poderia crescer até aos 8 metros de altura.

Flexão dos Braços Horizontais

Para determinar qual o diâmetro e a espessura dos tubos horizontais, é preciso definir previamente as condições de carregamento a que estes estarão sujeitos, tal como no ponto anterior. Para trabalhar do lado da segurança foi considerada a situação mais pessimista, em que os 50 kg de carga máxima estão aplicados na extremidade de um único braço, como exemplificado na Figura 4-6. Esta situação não corresponde à realidade, - as calhas de guiamento existentes entre a carga e os braços distribuem o esforço - mas garante a existência de uma folga no dimensionamento do componente, para o caso de existir alguma falha ou uso indevido.

A definição do comprimento do braço foi efetuada com o intuito de garantir que a corrente funcionaria no seu raio de curvatura mínimo, por forma a tornar o transportador o mais compacto possível. Deste modo, como se pode observar no esquema da Figura 4-7, considerando o diâmetro da coluna de 273 mm, o raio de curvatura mínimo de 736,60 mm e a largura da corrente de 457,20 mm, chega-se a um braço de comprimento 828,70 mm.

Mais uma vez por questões de segurança, optou-se por fazer o dimensionamento do braço horizontal à flexão numa situação claramente pessimista, na qual se considera que toda a carga está aplicada na extremidade do mesmo. Esta situação é a que produzirá um maior momento fletor no encastramento do braço na coluna. Mesmo não correspondendo a uma situação provável, esta opção permite acautelar algum uso indevido do equipamento, além do valor do coeficiente de segurança considerado. Assim, com base nos esquemas da Figura 4-6 e da Figura 4-7, pode calcular-se o momento fletor no encastramento, M_f^B , através da equação (4.21).



Figura 4-6 – Esquema do carregamento considerado para o cálculo à flexão dos braços horizontais.

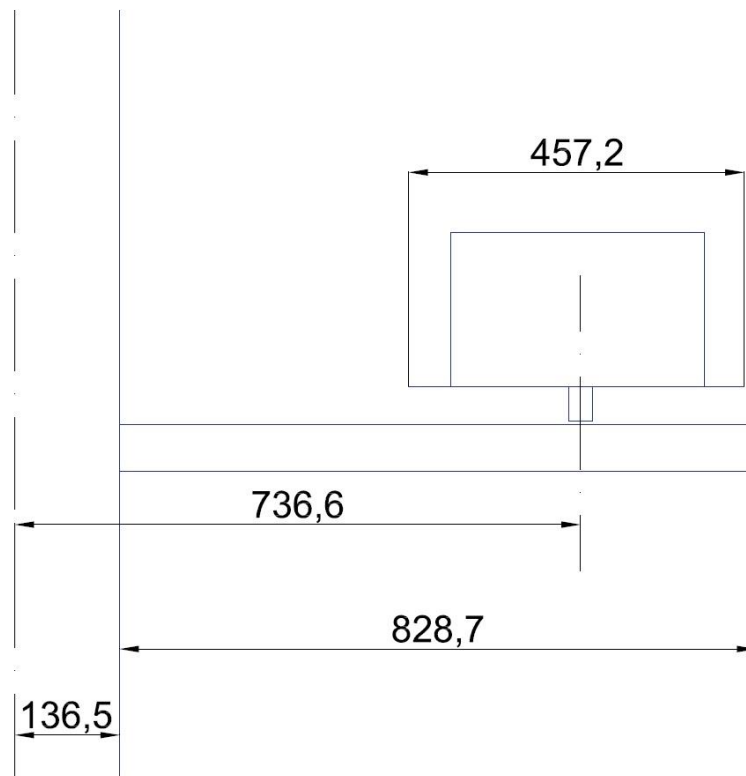


Figura 4-7 – Esquema dimensional utilizado para obter a estimativa do comprimento de cada braço horizontal.

$$M_f^B = (m_{Emb} + m_C) \cdot g \cdot L_B \quad (4.21)$$

$$\Leftrightarrow M_f^B = (50,00 + 7,44) \cdot 9,81 \cdot \frac{828,70}{1000} = 466,96 \text{ Nm} \quad (4.22)$$

Onde:

m_{Emb} é a massa da embalagem,
 m_C é a massa de um metro de corrente,
 L_B é o comprimento do braço horizontal e
 g é a aceleração da gravidade.

Recorrendo à equação (4.23), pode determinar-se o valor mínimo de w , módulo de resistência à flexão, que o tubo do braço deve ter para resistir a estas condições de carregamento. Considerou-se para o coeficiente de segurança, SF , o valor de 1,5, padrão neste tipo de situações. Além disso, tal como referido na secção “Encurvadura da Coluna Central”, como não há diferenças em termos de custos, optou-se pelo aço S275J0H.

$$\frac{\sigma_{ced}}{SF} = \frac{M_f^B}{w} \leftrightarrow \quad (4.23)$$

$$\leftrightarrow w = M_f^B * \frac{SF}{\sigma_{ced}} \leftrightarrow \quad (4.24)$$

$$\leftrightarrow w = 466,96 * \frac{1,5}{275} = 2,55 \text{ cm}^3 \quad (4.25)$$

O valor obtido, apresentado em cm^3 por ser essa a unidade habitual em catálogos, corresponde a tubos redondos com diâmetros sensivelmente compreendidos entre os 35 e os 45 mm, dependendo do valor da espessura. A escolha acabou por incidir sobre o tubo com 40 mm de diâmetro e 3 mm de espessura, cujo módulo de resistência à flexão é $w = 3,00 \text{ cm}^3$. Assim, surge um novo coeficiente de segurança diferente de 1,5, cujo valor pode ser calculado:

$$SF = \frac{\sigma_{ced} * w}{M_f^B} \leftrightarrow \quad (4.26)$$

$$\leftrightarrow SF = \frac{275 * 3,00}{466,96} = 1,77 \quad (4.27)$$

A obtenção deste valor de coeficiente de segurança é o motivo pelo qual o diâmetro da coluna não deve ser inferior ao considerado. Se assim fosse, o comprimento dos braços horizontais teria que ser superior, aumentando assim o valor do momento fletor e, consequentemente, diminuindo o valor de SF obtido para valores não desejáveis. A alternativa seria optar por um tubo de maior diâmetro ou espessura, o que globalmente seria mais oneroso do que esta opção. Assim, a solução mais equilibrada entre as características dos tubos da coluna e dos braços foi a aqui apresentada.

Flexão da Coluna Central

É também necessário verificar a coluna central quanto à flexão causada por uma carga em situação equivalente à da flexão dos braços. No entanto, tal como para o caso da encurvadura, o diâmetro do tubo da coluna parece à partida muito mais resistente do que o necessário. Aplicando um raciocínio similar ao da secção Flexão dos Braços Horizontais, vem

$$M_f^{Col} = (m_{Emb} + m_C) \cdot g * \left(L_B + \frac{D_{Col}}{2} \right) \quad (4.28)$$

$$\leftrightarrow M_f^B = (50,00 + 7,44) * 9,81 * \frac{1}{1000} * \left(828,70 + \frac{273,00}{2} \right) = 543,88 \text{ Nm} \quad (4.29)$$

Este valor aplicado em (4.30) resulta em

$$w = M_f^B * \frac{SF}{\sigma_{ced}} \leftrightarrow \quad (4.30)$$

$$\leftrightarrow w = 543,88 * \frac{1,5}{275} = 2,97 \text{ cm}^3 \quad (4.31)$$

Dado que o módulo de resistência à flexão da coluna é $w = 223,93 \text{ cm}^3$, obtemos, como esperado, uma situação bastante pacífica, com um coeficiente de segurança superior à centena.

A obtenção de um dimensionamento eficaz em alguns pontos da estrutura leva por vezes ao sobredimensionamento de outros, o que é o caso aqui.

4.2 Estudo das Calhas de Suporte e Guiamento da Corrente

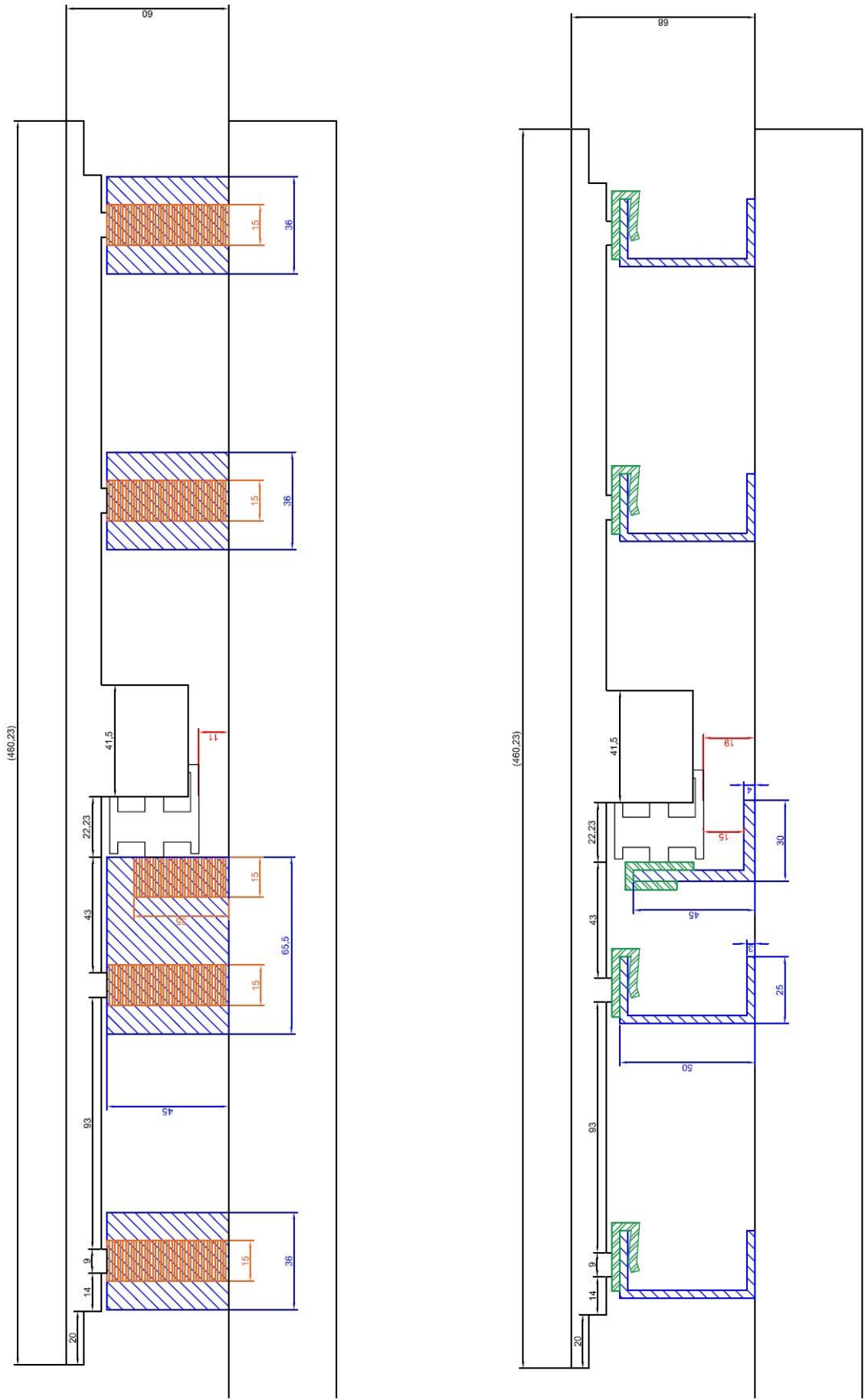
O processo de escolha da corrente foi delicado na medida em que esta é determinante para a definição de todos os restantes componentes do transportador. Um destes casos é a definição do conjunto de calhas que fará o suporte e guiamento da corrente ao longo do percurso do transportador. Este conjunto de componentes é de vital importância para o mecanismo, dado que deve garantir uma sustentação equilibrada da corrente, zelando pela manutenção do seu estado de preservação; assim como guiá-la de forma eficaz, minimizando os gastos energéticos com o atrito.

Como consequência de a solução de corrente escolhida estar a terminar um processo de utilização exclusiva, a Rexnord não podia ainda fornecer informação sobre o sistema de suporte e guiamento existentes na aplicação anterior da mesma. Assim, foi necessário proceder ao desenvolvimento de uma solução nova a partir de uma folha em branco. Recorrendo ao *software* de desenho 2D AutoCad, produziu-se uma análise esquemática destes elementos com vista a estudar diferentes possibilidades.

O primeiro passo consistiu em tentar perceber quais as condicionantes, funcionais e espaciais, existentes entre a corrente e os braços horizontais da estrutura. Considerou-se que a solução mais interessante funcionalmente seria a que otimizasse o uso dos roletes existentes na face inferior da corrente, assim como o uso do rolamento, por forma a minimizar o atrito entre a corrente e as calhas. Nesse sentido, havia que perceber qual era o espaço disponível para levar a cabo essa opção, para se procurar uma solução que a satisfizesse, estudo apresentado no esquema da Figuras 4-8. De notar que o posicionamento da corrente ao longo do braço horizontal foi feito com o intuito de manter o centro da corrente metálica a trabalhar no seu raio mínimo de curvatura.

Na medida dos espaços máximos e mínimos disponíveis, delimitados a azul e laranja respetivamente, foram procuradas soluções na forma de barras, perfis ou chapas, garantindo um corpo diferente para cada rolete ou rolamento ou considerando dois deles num só, como exemplificado nas Figuras 4-8. A solução a adotar teria que contemplar a existência de perfis poliméricos de deslizamento posicionados entre a corrente e as calhas, por três motivos:

- Para reduzir o atrito entre ambos: ponto relevante, como já foi referido, por questões energéticas e de redução do esforço normal presente na corrente;
- Para minimizar o desgaste da corrente: sendo esta de fabrico polimérico, estaria sujeita a um maior desgaste se trabalhasse em contacto com superfícies metálicas do que se trabalhar contra outras superfícies poliméricas;
- Para minimizar o ruído produzido: o movimento da corrente produz ruído que, se possível, deve ser minimizado. A adoção de perfis poliméricos ajuda nesta função, o que é uma mais-valia para o TEG.



Figuras 4-8 e 4-9 - Estudo do espaço disponível para as calhas (esquerda) e primeira solução proposta (direita).

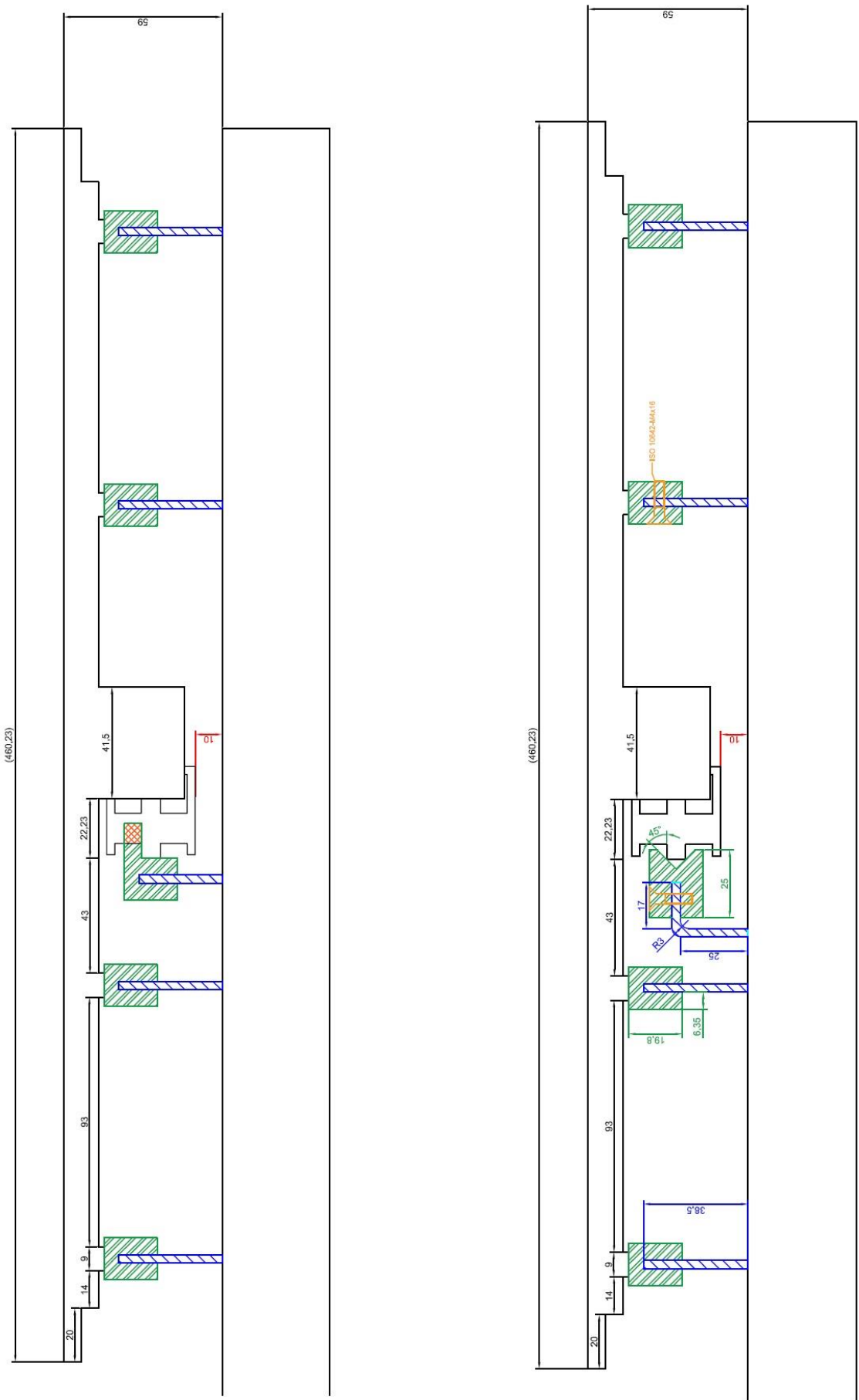
A primeira solução proposta para esta problemática pressupunha a utilização de quatro chapas quinadas em “U” e uma chapa quinada em “L”, como apresentado nas Figuras 4-89. A fazer de interface entre a corrente e as chapas, existiam cinco perfis de escorregamento do tipo LK25 do catálogo da Habasit [17]. A ligação entre as chapas e os braços horizontais seria feita por soldadura, na altura da montagem do equipamento. Esta proposta acabou por ser abandonada devido à dificuldade da sua obtenção: as guias teriam que acompanhar a espiral do transportador, pelo que as chapas teriam que ser calandradas com o raio pretendido, isto após a quinagem. A dificuldade de realização desta operação, particularmente nas chapas em “U”, tornava esta proposta pouco prática.

Com o objetivo de resolver os problemas da proposta anterior, assim como de tentar simplificar a complexidade global da solução, foi criada uma nova proposta, apresentada na Figuras 4-10. Esta é constituída por cinco chapas, das quais quatro são iguais e uma tem uma altura menor. Esta ideia permite resolver o problema da calandragem, ao mesmo tempo que elimina as operações de quinagem e diminui a quantidade de material gasto, tornando assim o equipamento mais leve. Os perfis poliméricos utilizados nas quatro chapas maiores correspondem à referência MB 01 do catálogo da Habasit e têm a vantagem de possuírem uma espessura maior face aos anteriores, permitindo assim uma maior vida potencial [17].

Em contrapartida, o perfil a utilizar em conjunto com o rolamento, do tipo MB 02, exige a sua maquinagem, o que é uma operação indesejável. O objetivo deste tipo de construção é o de impedir o rolamento de se movimentar na vertical, ou seja, manter a corrente sempre em contacto com as guias, o que não acontecia na solução anterior. Ainda assim, mesmo após maquinagem, dada a sua geometria, há a possibilidade de o perfil perturbar o funcionamento do rolamento ao impedir os seus movimentos através do contacto com as partes estáticas do mesmo. Idealmente, o guiamento do rolamento deve ser feito sem prejudicar o seu bom funcionamento, pelo que surgiu uma nova proposta, apresentada na Figuras 4-101.

Esta proposta é idêntica à anterior nas calhas que suportam a corrente, diferindo apenas na que guia o rolamento. Esta é pensada como uma chapa quinada em “L”, que permite a aplicação de um perfil polimérico com uma face em “V” de guiamento do rolamento. A calandragem desta chapa é mais difícil do que se fosse apenas a alma, mas é exequível e não representa um problema. Por sua vez o conceito do perfil polimérico permite o correto posicionamento do rolamento em permanência, sem comprometer o seu funcionamento. Além disso, a forma em “L” da calha implica uma maior resistência à flexão decorrente da força horizontal exercida pelo rolamento.

No desenho são também apresentados os parafusos utilizados para a fixação dos perfis poliméricos às chapas metálicas. Estes são parafusos de cabeça de embutir do tipo ISO 10642 – M4 x 16, que devem ser aplicados pelo operador na hora da montagem. Será necessário fixar os perfis de deslizamento apenas no início dos mesmos, ou seja, na entrada do transportador. Este serão depois aplicados ao longo da subida e deixados livres no topo, por forma a permitirem variações de dimensão decorrentes de oscilações térmicas.



Figuras 4-10 e 4-11 - Segunda (esquerda) e terceira (direita) soluções propostas para a problemática das calhas.

A terceira solução é claramente mais eficiente do que a anterior do ponto de vista do guiamento, mas apresenta uma dificuldade: o perfil polimérico em questão não existe no mercado, foi desenvolvido como sendo a solução ótima para este problema concreto. A sua obtenção teria então que passar igualmente pela maquinagem de um perfil existente, nomeadamente a parte do rasgo em “V”, ou então pela encomenda ao fabricante de um novo produto não catalogado. Como a opção anterior também exigiria a maquinagem de um perfil, a JPM considerou que faria sentido, pelo menos para o protótipo, a construção do TEG com um perfil ajustado às necessidades. Assim, esta última opção foi aprovada como a configuração das calhas de suporte e guiamento da corrente a utilizar no protótipo. O seu aspeto tridimensional está apresentado na Figura 4-12. A sua validade será comprovada com os testes efetuados ao mesmo e corrigida se necessário.

No entanto, a possibilidade de a Habasit fornecer o novo perfil com as especificações pretendidas foi igualmente estudada, para acautelar a fase de produção em contínuo do TEG. O perfil em questão é possível de realizar, mas implica a construção de um nove molde por parte do fornecedor. A disponibilidade para realizar um investimento desse calibre existe se o cliente se comprometer a adquirir cerca de um quilómetro de perfil. Como cada transportador com a configuração em estudo gastará aproximadamente 11 metros deste perfil, seriam necessárias cerca de 100 unidades para justificar o investimento. A JPM pretende alcançar um objetivo de 20 unidades do TEG instaladas por ano, o que significa que seria um investimento em perfil para 5 anos de produção, o que é excessivo. Assim, será necessário procurar uma solução alternativa a este perfil para a produção em contínuo deste equipamento, seja junto de outros fornecedores ou alterando a configuração do perfil ou das calhas.

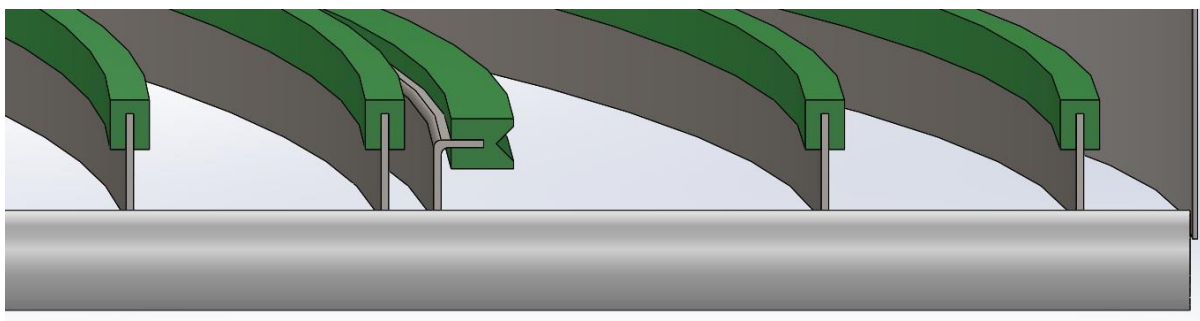


Figura 4-12 – Imagem tridimensional da solução adotada.

4.3 Cálculo do Acionamento

A definição do acionamento que dá vida a uma máquina é sempre um processo de grande relevância e por vezes complexo. No caso do TEG, a falta de bibliografia de suporte que pudesse servir como ponto de partida foi uma dificuldade. Os transportadores industriais são produtos iminentemente tecnológicos, sobre os quais existem poucos estudos ou referências científicas, cabendo frequentemente ao fabricante a explicação dos conceitos de engenharia utilizados no desenvolvimento da máquina. Particularmente sobre transportadores em espiral, apenas foi encontrado um modelo que descrevesse fisicamente o problema, que acabou por se revelar inadequado [18].

Perante esta dificuldade, a solução passou pelo desenvolvimento de um processo de cálculo próprio para a potência de acionamento necessária. Este teve como base o modelo de um plano inclinado com atrito, apresentado na Figura 4-13, o que ia de encontro à pouca informação disponível. Foram consideradas as características do transportador apresentadas na Tabela 4-2, de acordo com o previamente definido.

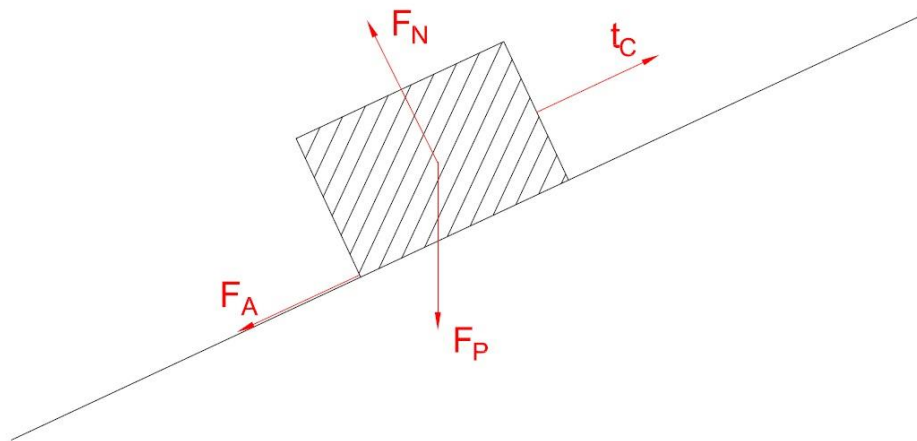


Figura 4-13 – Esquema do plano inclinado considerado como base para o procedimento de cálculo do acionamento.

Tabela 4-2 – Conjunto de parâmetros necessários ao cálculo do acionamento.

Parâmetro	Unidade	Valor
Raio da Espiral	mm	706
Raio da Espiral	mm	736,6
Ângulo da Espiral	°	8,7
Comprimento de Entrada/Saída	mm	950
Largura da Corrente	mm	457,2
Capacidade de Carga	kg/m	50
Massa da Corrente	kg/m	7,44
Velocidade de Funcionamento	m/min	21
Elevação	mm	1700
Coefficiente de Atrito	-	0,15

O valor do coeficiente de atrito apresentado pode suscitar algumas dúvidas, na medida em que é elevado para atrito de rolamento e reduzido para atrito de escorregamento. A verdade é que o objetivo do valor considerado é exatamente esse, ponderar ambas as situações. A existência de um rolamento e de roletes na corrente pode sugerir que esta rolará sobre as calhas sem escorregar, mas a falta de uniformidade do carregamento aliada ao percurso curvilíneo minam esta consideração. Não existem valores referência que possam servir como guiamento, mas a Rexnord indica que os ensaios práticos efetuados a correntes aplicadas em outros transportadores do género atingem resultados de coeficientes de atrito superiores ao caso ideal, mas inferiores aos valores de escorregamento puro. Assim, considerou-se que o valor de $\mu = 0,15$ seria uma ponderação razoável destes fatores.

Para obter o valor da potência do acionamento é necessário calcular primeiramente o valor da tensão total na corrente, T_C , que terá que ser vencida. Esta resulta da multiplicação da tensão na corrente por unidade de comprimento, t_C , pelo comprimento de corrente útil (sujeita a carregamento), como se pode observar na equação (4.32),

$$T_C = t_C * L_{C_{util}} \quad (4.32)$$

Para a obtenção de t_C , é necessário proceder ao cálculo do peso, da força normal e da força de atrito, de acordo com o ilustrado na Figura 4-13.

$$F_P = (m_C + m_{Emb}) * g \leftrightarrow \quad (4.33)$$

$$\leftrightarrow F_P = (7,44 + 50,00) * 9,81 = 563,49 \text{ N} \quad (4.34)$$

$$F_N = F_P * \cos(\alpha) \leftrightarrow \quad (4.35)$$

$$\leftrightarrow F_N = 563,49 * \cos(8,7^\circ) = 557,04 \text{ N} \quad (4.36)$$

$$F_A = F_N * \mu \leftrightarrow \quad (4.37)$$

$$\leftrightarrow F_A = 557,04 * 0,15 = 83,56 \text{ N} \quad (4.38)$$

Então, vem

$$t_C = F_A + F_P * \sin(\alpha) \leftrightarrow \quad (4.39)$$

$$\leftrightarrow t_c = 83,56 + 563,49 * \sin(8,7^\circ) = 168,53 \text{ N} \quad (4.40)$$

Voltando a (4.32), resulta que

$$T_c = 168,53 * \frac{11156,39}{1000} = 1880,18 \text{ N} \quad (4.41)$$

O valor da tensão total na corrente multiplicado pelo raio da engrenagem que a movimentar será igual ao binário que o motor terá que aplicar. Assim, é necessário ter em consideração as dimensões da engrenagem escolhida para a o cálculo da potência do acionamento. A racionalização da sua escolha encontra-se na secção “Módulo de Envio e as Suas Ligações”, onde são analisadas as condicionantes da tomada de decisão, mas considere-se para este cálculo o seu raio, $r_{E_1} = 85,22 \text{ mm}$. Assim,

$$B = T_c * r_{E_1} \leftrightarrow \quad (4.42)$$

$$\leftrightarrow B = 1880,18 * \frac{85,22}{1000} = 160,22 \text{ Nm} \quad (4.43)$$

A potência necessária é obtida em função dos valores da tensão total na corrente e da velocidade de funcionamento. Naturalmente que o cálculo deve ser efetuado para a velocidade máxima de funcionamento, ou seja, 21 m/min (que com a engrenagem em questão equivale a sensivelmente 39 rpm). Deste modo,

$$P = T_c * v \leftrightarrow \quad (4.44)$$

$$\leftrightarrow P = 1880,18 * \frac{21}{60} = 658,06 \text{ W} \quad (4.45)$$

No dimensionamento de transportadores é comum a aplicação de um coeficiente de segurança final ao valor de potência obtido. O valor de 1,5 é sempre uma referência, mas o fabricante de transportadores em espiral Easecon sugere considerar uma eficiência de 60% [18]. Como termo de comparação, foram consideradas as duas hipóteses:

$$P_{SF_1} = P * SF \leftrightarrow \quad (4.46)$$

$$\leftrightarrow P_{SF} = 658,06 * 1,5 = 987,09 \text{ W} = 0,99 \text{ kW} \quad (4.47)$$

$$P_{SF_2} = \frac{P}{E_{ff}} \leftrightarrow \quad (4.48)$$

$$\leftrightarrow P_{SF_2} = \frac{658,06}{0,6} = 1096,77 \text{ W} = 1,10 \text{ kW} \quad (4.49)$$

Em ambos os casos os resultados apontam para acionamentos de 1,1 kW, pelo que esta será a potência a considerar para o acionamento do TEG. Este valor foi corroborado por cálculos realizados de forma independente pela Rexnord e pela SEW – Eurodrive, a quem foram pedidos pareceres nesta questão, por forma a validar o resultado obtido.

É importante, no entanto, fazer a comparação com o transportador da AmbaFlex utilizado como referência, cuja potência é de 0,55 kW. A diferença é considerável, mas pode ser explicada em 4 pontos:

- O TEG é maior do que o AmbaFlex em questão devido às características da corrente que usa. O transportador que serve como objetivo está equipado com uma corrente de 400 mm e que possui um raio de curvatura mais apertado, o que lhe permite ter um diâmetro exterior de 1300 mm;
- O transportador da AmbaFlex foi dimensionado para uma velocidade nominal de 17 m/min, inferior à considerada para o TEG. Este valor é de sobremaneira importante

para o cálculo da potência do acionamento, como constatado nos cálculos anteriores, pelo que a sua redução tem um impacto considerável na mesma;

- A corrente do AmbaFlex é mais eficiente e globalmente uma melhor solução do que a utilizada para o TEG. É difícil de quantificar a importância deste fator, mas além de a corrente ser mais leve, tem também uma construção que facilita o seu próprio guiamento, provavelmente diminuindo o coeficiente de atrito global;
- Existe no cálculo da potência do TEG uma boa dose de experimentação que deverá ser comprovada pela prática. Valores como os dos coeficientes de atrito e de segurança são ainda fruto da experiência no dimensionamento de outros tipos de transportadores e devem ser afinados para esta aplicação em concreto. Pelo contrário, a AmbaFlex é líder mundial na produção deste tipo de transportadores, pelo que possui experiência acumulada no cálculo de potência dos seus equipamentos.

Deve também ser tido em conta que o dimensionamento deste transportador está a ser feito integralmente a considerar as piores situações para as quais a máquina foi pedida. A maioria das aplicações será em condições aquém destas em termos de exigência. Assim, dado que o valor de potência obtido antes da aplicação do coeficiente de segurança é inferior a 0,75 kW, valerá certamente a pena proceder a um ensaio do protótipo com um acionamento deste nível de potência.

Seleção do Conjunto Motorreductor

Como foi referido na secção 3.2, o fornecedor escolhido para o fornecimento do acionamento do TEG foi a SEW – Eurodrive. Com os valores de binário e potência definidos na secção anterior, 160,22 Nm e 1,1 kW respetivamente, consultou-se o simulador *online* disponibilizado pela empresa [19].

Para a aplicação em causa, a escolha tendencial seria a de um reductor de parafuso sem-fim e roda de coroa, como geralmente utilizado em transportadores industriais deste calibre. No entanto, os redutores de engrenagens cónicas têm vindo a sofrer um desenvolvimento considerável no sentido de se apresentarem como alternativa, podendo ter vantagens em termos de eficiência e massa. Assim, ambas as opções foram estudadas, com o intuito de obter a solução mais apropriada para esta aplicação. Com os *inputs* referidos, as referências mais adequadas de cada solução construtiva seriam a SA57 DRN90S4/BE2 e a KA39 DRN90S4/BE2, respetivamente sem-fim e cónica. As fichas técnicas encontram-se apresentadas no Anexo B.

Ambas as hipóteses têm a potência nominal pretendida e apresentam binários superiores ao necessário, na casa dos 200 Nm. As velocidades de saída são também muito semelhantes, de 45 e 47 rpm, respetivamente nas soluções de parafuso sem-fim e de engrenagens cónicas. Mesmo os valores do rendimento da solução são idênticos, oscilando em torno dos 84%. No entanto, em termos mássicos e financeiros a solução do parafuso sem-fim ganha vantagem, sendo simultaneamente 10% mais leve e 7% mais barata. A diferença não é grande, mas suficiente para fazer pender a escolha para o lado daquilo que é a opção mais consensual. O aspeto deste conjunto motorreductor está apresentado na Figura 4-14.



Figura 4-14 – Representação tridimensional do conjunto motorreductor selecionado.

4.4 Definição de Veios

O TEG utiliza dois veios, um ativo e um passivo, para suportar as engrenagens que acionam ou guiam a corrente nas extremidades do transportador. Estes dois componentes estão sujeitos à tensão imposta pela corrente e, no caso do veio ativo, ao binário transmitido pelo acionamento. Assim, é natural que este seja alvo de um processo de dimensionamento estrutural cuidado. Devido às características do seu carregamento, torção e flexão rotativa, este componente deve ser analisado de um ponto de vista de fadiga e não apenas estaticamente.

Num mecanismo da natureza de um transportador em espiral não é aceitável a rutura de um componente como um veio, quaisquer que sejam as condições de funcionamento. Mesmo na eventualidade de uma reconfiguração do mecanismo o veio deve manter-se sempre que possível. Assim, optou-se por fazer o dimensionamento à fadiga para vida infinita, utilizando como referência os apontamentos “Dimensionamento à fadiga” de Paulo M.S. Tavares de Castro (2014) [20].

O esquema de carregamento do veio está apresentado na Figura 4-15. Para produzir uma primeira estimativa com que iniciar o dimensionamento à fadiga pode recorrer-se ao cálculo estático para determinar um diâmetro mínimo admissível para o veio. Considerando a tensão normal, resultante do esforço de flexão, pode ser feita a dedução apresentada a partir de (4.50).

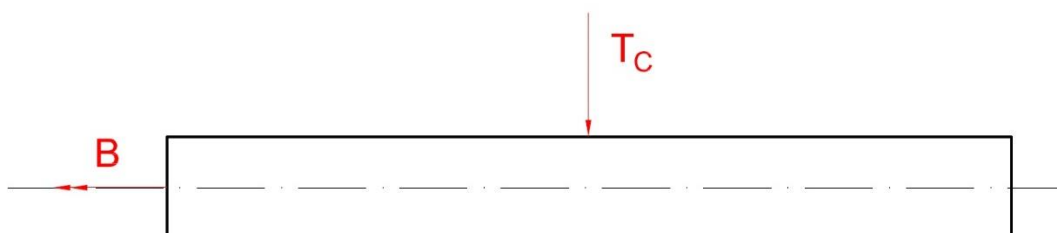


Figura 4-15 – Esquema do tipo de carregamento a que o veio estará sujeito.

$$\frac{\sigma_{ced}}{SF} = \frac{M_f \cdot \frac{d_V}{2}}{I} \leftrightarrow \quad (4.50)$$

$$\leftrightarrow \frac{\sigma_{ced}}{SF} = \frac{M_f + \frac{d_V}{2}}{\frac{\pi \cdot d_V^4}{64}} \leftrightarrow \quad (4.51)$$

$$\leftrightarrow \frac{\sigma_{ced}}{SF} = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d_V^3} \leftrightarrow \quad (4.52)$$

$$\leftrightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_f \cdot SF}{\pi \cdot \sigma_{ced}}} \quad (4.53)$$

Onde:

σ_{ced} é a tensão de cedência,
 M_f é o valor do momento fletor,
 d_V é o diâmetro do veio,
 SF é o coeficiente de segurança e

I é o momento de inércia relativamente ao eixo do veio.

Dado o carregamento do veio, o momento fletor será máximo a meio vão, o que resulta em

$$M_f = \frac{T_C \cdot L_V}{4} \leftrightarrow \quad (4.54)$$

$$\leftrightarrow M_f = \frac{1880,18 \cdot \frac{461}{1000}}{4} = 216,69 \text{ Nm} \quad (4.55)$$

Voltando a (4.53), obtém-se então

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 216,69 \cdot 1,5}{\pi \cdot 360 \cdot 10^6}} = 24,15 \text{ mm} \quad (4.56)$$

Este valor não é descritivo da totalidade da realidade, na medida em que o veio também estará sujeito a um esforço de torção, mas permite ter uma noção da ordem de grandeza deste componente, ainda que grosseira. Note-se a utilização de aço Fe 360 (S235JRH) pois, neste caso, a equivalência de preço não se mantém. Assim, optou-se pela alternativa mais barata.

Como o veio terá que transmitir o movimento à corrente através da engrenagem, terá que incluir um escatel para a chaveta, que diminui a sua resistência. Assim, para primeira iteração, considere-se um veio de 35 mm de diâmetro, que terá um escatel de 5 mm de profundidade. Isto fará com que o diâmetro mínimo relevante para o dimensionamento, correspondente ao interior do rasgo, seja de 30 mm. Para proceder ao dimensionamento à fadiga, terá que ser considerado o seguinte conjunto de equações,

$$\sigma_{eq} = \sigma_m + \frac{\sigma_{ced}}{\sigma_{f0} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} \cdot \sigma_a \cdot K_f \quad (4.57)$$

$$\tau_{eq} = \tau_m + \frac{\tau_{ced}}{\tau_{f0} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} \cdot \tau_a \cdot K_f \quad (4.58)$$

Onde:

σ_{eq} e τ_{eq} são as tensões equivalentes de fadiga, que se pretendem calcular,
 σ_{ced} e τ_{ced} são as tensões normal e de corte de cedência,
 σ_m e τ_m são as tensões normal e de corte médias,

σ_a e τ_a são as tensões normal e de corte alternadas,
 σ_{f0} e τ_{f0} são as tensões normal e de corte limite de fadiga,
 C_1 é o fator de correção do tipo de carga,
 C_2 é o fator de correção do efeito do tamanho,
 C_3 é o fator de correção do acabamento superficial e
 K_f é o fator de concentração de tensões de fadiga.

Para a situação em questão, o momento calculado em (4.55) origina aquilo que será a tensão alternada de carregamento do veio, σ_a , não existindo tensão média resultante do esforço de flexão. Pelo contrário, do esforço de torção resulta apenas uma tensão média, τ_m , consequência do binário constante aplicado pelo motor elétrico. Assim, estas podem ser calculadas como apresentado nas equações (4.59) e (4.61).

$$\sigma_a = \sigma_f = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d_v^3} \leftrightarrow \quad (4.59)$$

$$\leftrightarrow \sigma_a = \frac{32 \cdot 216,69}{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^3} = 81,75 \text{ MPa} \quad (4.60)$$

$$\tau_m = \tau_t = \frac{16 \cdot B}{\pi \cdot d_v^3} \leftrightarrow \quad (4.61)$$

$$\leftrightarrow \tau_m = \frac{16 \cdot 160,22}{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^3} = 30,22 \text{ MPa} \quad (4.62)$$

A tensão de cedência do aço utilizado, σ_{ced} , é de 235 MPa. Por sua vez a tensão de rotura, σ_{rot} , como foi referido, corresponde a 360 MPa. Considerando que a tensão limite de fadiga, $\sigma_{f0} \approx 0,5 \cdot \sigma_{rot}$, pode considerar-se $\sigma_{f0} = 180 \text{ MPa}$.

Relativamente ao fator de correção do tipo de carga, C_1 , este é igual à unidade para aplicações em flexão rotativa, mas para solicitações de torção toma valores de 0,58. Vai portanto tomar valores diferentes nas equações (4.57) e (4.58).

O fator de correção do efeito do tamanho, C_2 , depende do diâmetro do veio. Para o valor considerado, de acordo com o gráfico da Figura 4-16, C_2 toma o valor de 0,85.

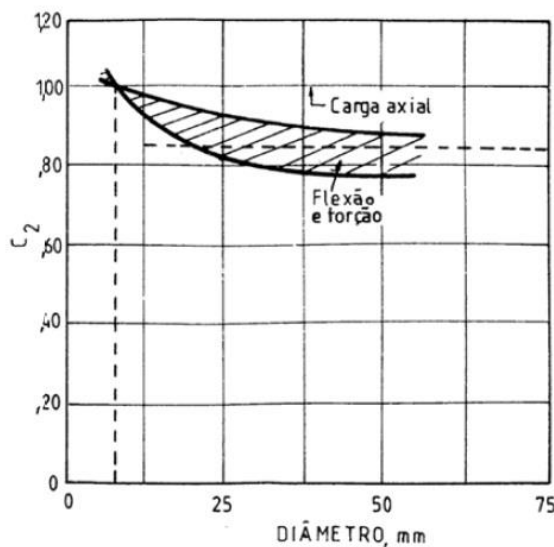


Figura 4-16 – Relação entre o diâmetro do veio e o valor de C_2 (adaptado de [20]).

Para o fator de correção do acabamento superficial, C_3 , deverá ser considerado o gráfico da Figura 4-17. Para a tensão de rotura indicada e considerando que o veio será maquinado, C_3 será sensivelmente igual a 0,8.

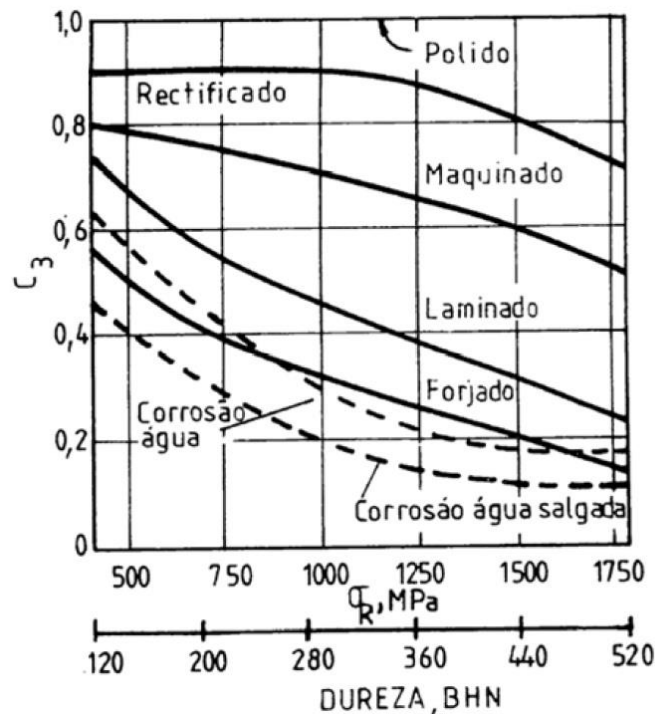


Figura 4-17 – Relação entre a tensão de rotura, o acabamento superficial e o valor de C_3 (adaptado de [20]).

A determinação do fator de concentração de tensões de fadiga, K_f , requiere a determinação prévia do valor de K_t , fator de concentração de tensão teórico. O valor de K_t depende das características da variação de secção do veio, neste caso decorrente do rasgo da chaveta, assim como do seu carregamento. Considerando que $r/d = 0,15$ e $D/d = 1,17$, recorrendo ao gráfico da Figura 4-18, resulta que

$$K_{t_{flexão}} \approx 1,45 \quad (4.63)$$

$$K_{t_{torção}} \approx 1,15 \quad (4.64)$$

Como

$$K_f = 1 + q \cdot (K_t - 1) \quad (4.65)$$

E sabendo que q varia entre 0 e 1 de acordo com o gráfico da Figura 4-19, chega-se então aos resultados descritos nas equações (4.66) e (4.67).

$$K_{f_{flexão}} = 1 + 0,9 \cdot (1,45 - 1) = 1,31 \quad (4.66)$$

$$K_{f_{torção}} = 1 + 0,9 \cdot (1,15 - 1) = 1,04 \quad (4.67)$$

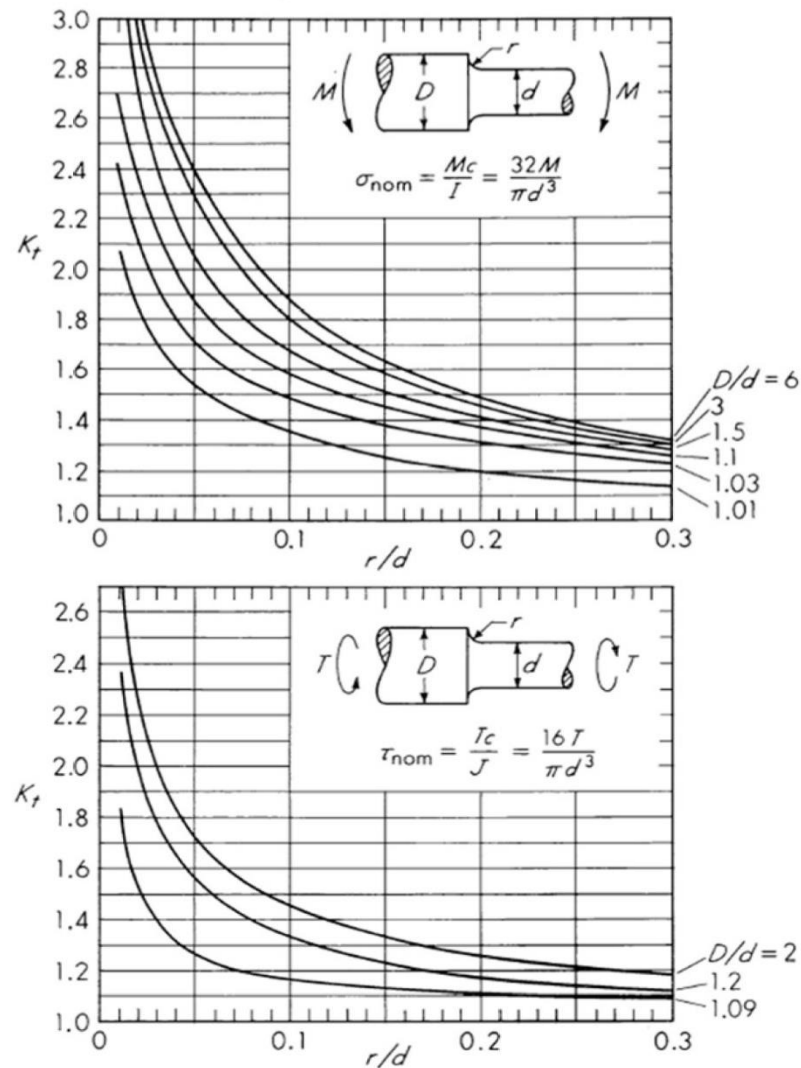


Figura 4-18 – Relação entre o raio de concordância do entalhe, o quociente entre os diâmetros do veio e o valor de K_t , para flexão e torção (adaptado de [20]).

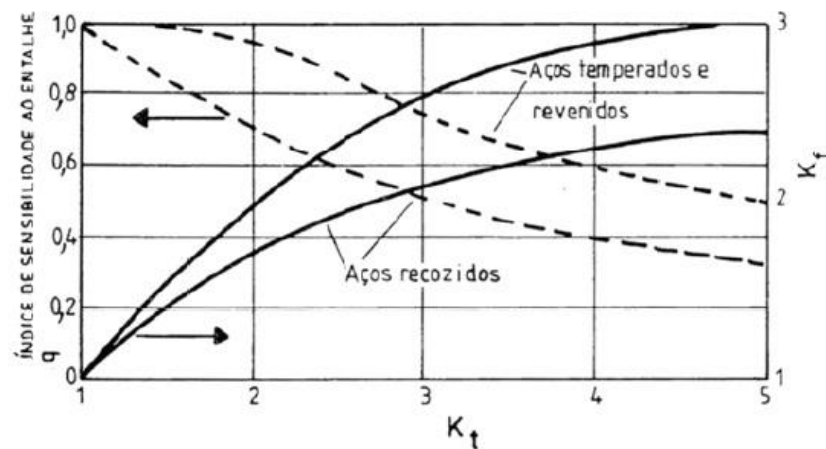


Figura 4-19 – Relação entre K_t e q para diferentes tratamentos térmicos (adaptado de [20]).

Tendo todas as componentes necessárias, é então possível regressar às equações (4.57) e (4.58). Assim, vem que

$$\sigma_{eq} = 0 + \frac{235 \cdot 10^6}{(180 \cdot 10^6) \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,8} * (81,75 \cdot 10^6) * 1,31 = 204,82 \text{ MPa} \quad (4.68)$$

$$\tau_{eq} = 30,22 \cdot 10^6 + \frac{235 \cdot 10^6}{(180 \cdot 10^6) \cdot 0,58 \cdot 0,85 \cdot 0,8} * 0 * 1,31 = 30,22 \text{ MPa} \quad (4.69)$$

Com os valores obtidos para as tensões equivalentes de fadiga é possível aplicar o critério de Tresca para obter o coeficiente de segurança do veio em questão, como apresentado na equação (4.70).

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{eq}}{2}\right)^2 + \tau_{eq}^2} = \frac{\sigma_{ced}}{2} * \frac{1}{SF} \leftrightarrow \quad (4.70)$$

$$\leftrightarrow \sqrt{\left(\frac{204,82 \cdot 10^6}{2}\right)^2 + (30,22 \cdot 10^6)^2} = \frac{235 \cdot 10^6}{2} * \frac{1}{SF} \leftrightarrow \quad (4.71)$$

$$\leftrightarrow SF = 1,10 \quad (4.72)$$

Este coeficiente de segurança é um valor claramente abaixo do pretendido, pelo que o veio de 35 mm de espessura não serve para a aplicação em questão. Assim, terá que ser considerado o valor normalizado imediatamente acima, que corresponde a um veio de 40 mm de diâmetro. Repetindo o processo de cálculo demonstrado para o novo diâmetro chega-se a um novo valor do coeficiente de segurança, apresentado na equação (4.73).

$$SF = 1,75 \quad (4.73)$$

Este valor de SF já se encontra dentro do aceitável, pelo que este será o diâmetro do veio considerado. A chaveta, cuja profundidade do escatel já foi definida, dependerá da roda escolhida para transmitir o movimento à corrente, pelo que o seu comprimento ainda não se encontra definido. Pelo contrário, a ponta do veio necessitará de trabalhar em conjunto com o motorreductor escolhido, pelo que terá que obedecer às suas condicionantes. A SEW – Eurodrive fornece os seus acionamentos com veio oco de diâmetro máximo de 35 mm, pelo que a ponta do veio terá que ter esta dimensão. A geometria final do veio, no entanto, dependerá de outras condicionantes espaciais analisadas com maior detalhe mais à frente.

4.5 Conceção e Montagem dos Restantes Componentes

Tendo efetuado o dimensionamento dos componentes que requeriam um estudo estrutural e de engenharia mais cuidado, é altura de apresentar a conceção dos restantes componentes e módulos de componentes do TEG. Estes não são menos importantes para o correto funcionamento do transportador, apenas o seu processo de idealização obedece a questões puramente funcionais e não matemáticas. A sua apresentação seguirá uma lógica de montagem do transportador, como se se fossem acrescentando os componentes ao previamente existente.

Todas as peças apresentadas foram pensadas com o intuito de a sua execução poder ser feita com as capacidades da JPM ou similares, pelo que o seu método de fabrico foi sempre tido em conta. Por exemplo, todas as chapas utilizadas no TEG foram planificadas e ajustadas às necessidades de corte e quinagem da empresa. Além disso, foi tida em conta a ideia de criar um mecanismo o mais modular possível, pelo que tendencialmente todos os componentes estão agregados em módulos que podem ser montados previamente ao fabrico da totalidade do

transportador. Pretende-se com isto ganhar tempo e flexibilidade no processo de fabrico do mecanismo.

Curva de 180°

O primeiro módulo apresentado é o de uma curva de 180°, demonstrado na Figura 4-20, que constituirá a espiral do transportador. Com o intuito de criar uma estrutura modular, capaz de se adaptar futuramente a um transportador com diferentes configurações, definiu-se que a totalidade da espiral do TEG haveria de ser construída pela montagem sucessiva de módulos mais pequenos, concretamente de 180°. Deste modo, o módulo tem início num dos braços horizontais da estrutura, de onde partem as cinco chapas que constituem as calhas, terminando meia volta depois no braço que dá início ao módulo seguinte. As calhas possuem um recorte com a forma fêmea dos tubos dos braços, por forma a permitirem um posicionamento exato de todos os componentes e facilitarem o processo de soldadura.

As calhas em questão estão de acordo com o descrito na secção 4.2, assim como a escolha dos perfis de deslizamento. O seu posicionamento relativamente à estrutura foi feito considerando que a corrente trabalharia no seu raio mínimo de curvatura, por forma a tornar o mecanismo o mais compacto possível. A utilização de uma blindagem exterior tem uma função complementar, impedindo a saída da corrente ou das grupagens do transportador, em caso de problema; assim como impede a entrada de corpos estranhos ao sistema para o sistema de guiamento. A blindagem cumpre uma dupla função de segurança.

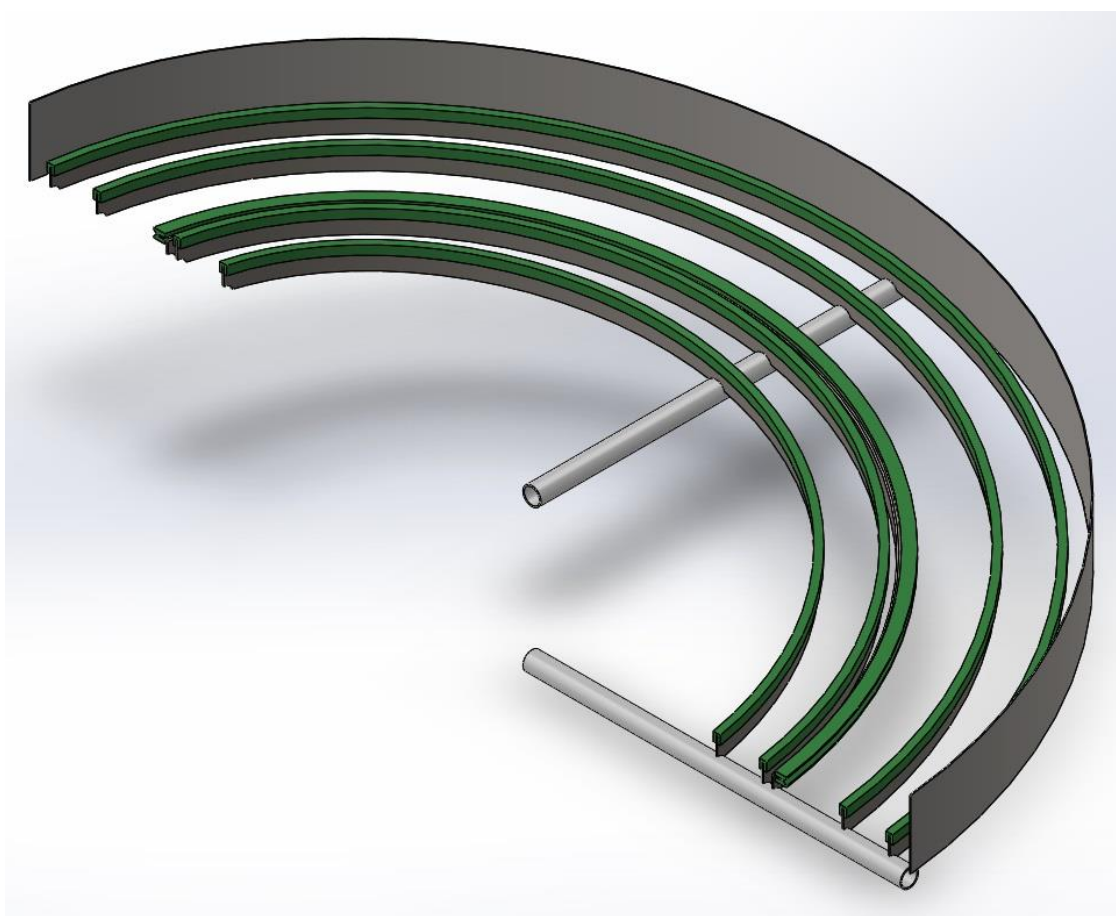


Figura 4-20 – Módulo da curva de 180° do TEG.

A aplicação sucessiva de módulos destes permite construir o transportador com qualquer número de voltas, desde que a entrada e a saída estejam na mesma direção. Este sistema permite a reconfigurabilidade do projeto da máquina a uma qualquer necessidade, bastando alterar o ângulo de inclinação do transportador e aplicar o número necessário de módulos destes. Fica assim precavida a adaptação do TEG a diferentes tipos de encomendas futuras. Esta característica está exemplificada na Figura 4-21.

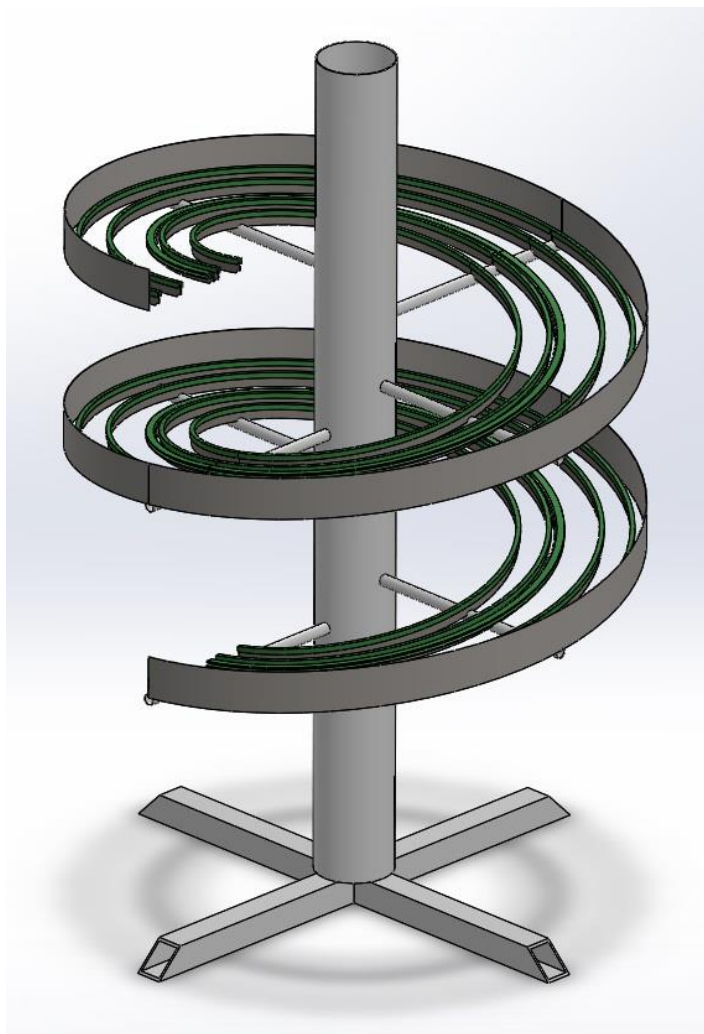


Figura 4-21 – Aplicação de 4 módulos da curva de 180° na estrutura principal do TEG.

Entrada e Saída do Transportador

Os módulos de entrada e saída do transportador, respetivamente apresentados na Figura 4-22 e na Figura 4-23, correspondem aos troços retos no topo e no fundo do TEG. Estes são a continuação da espiral até ao limite do TEG para comunicarem com os transportadores que lhe são adjacentes. A sua construção é muito idêntica entre si, partindo as mesmas cinco calhas em linha reta do primeiro ou último braço horizontal, respetivamente, num comprimento de 710 mm. No caso do módulo de saída, este contempla também o próprio braço horizontal, pela forma como foi definido o módulo da curva a 180°.

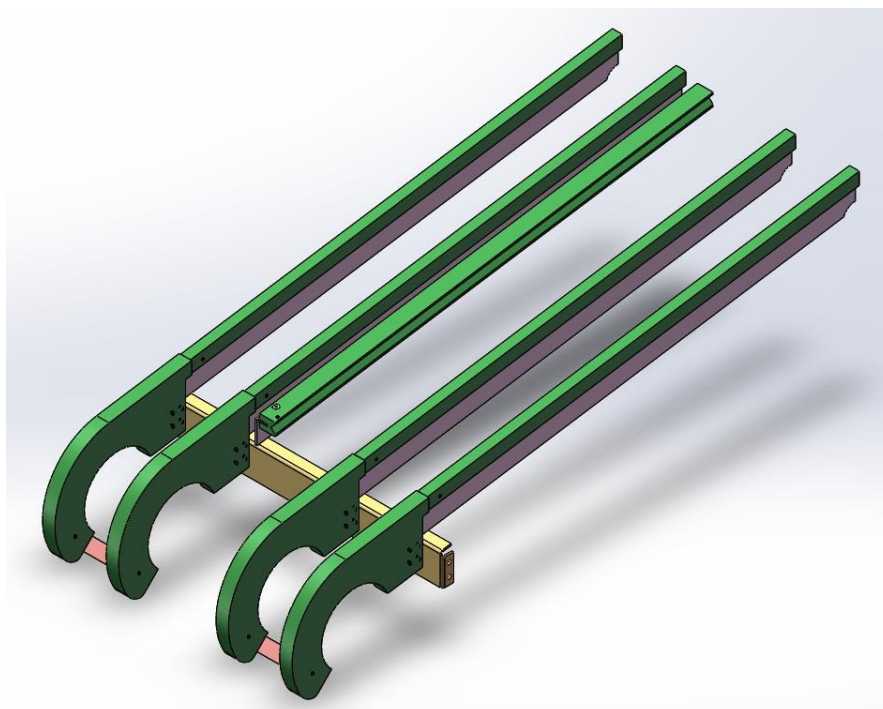


Figura 4-22 – Módulo de entrada do TEG.

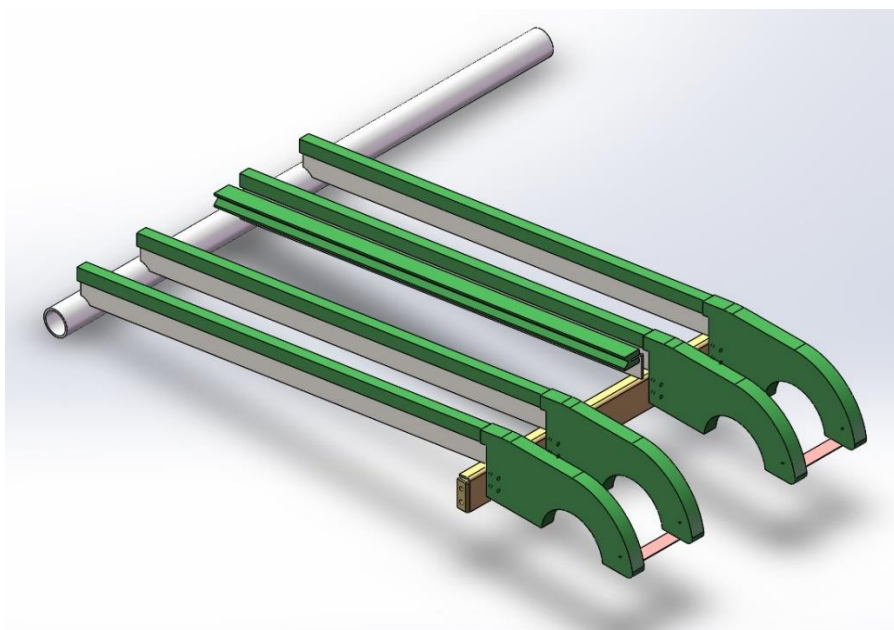


Figura 4-23 – Módulo de saída do TEG.

No seu limite, as calhas estão acopladas a um corpo que faz a ligação com a estrutura metálica periférica do transportador. Neste corpo estão também montadas guias poliméricas curvas, cuja função é guiar a corrente durante a curva que efetua nos limites do transportador. Estas guias são maquinadas a partir de placas de 20 mm de espessura e a sua geometria é pensada para facilitar o mais possível a montagem relativamente ao veio. Para lhes acrescentar alguma rigidez, dado que vão receber ou libertar a carga, foram aplicadas chapas metálicas no seu fundo, agrupando-as duas a duas. Assim, terão menor tendência a oscilar em torno da sua posição estática.

No módulo de entrada, serão aparafusados os perfis poliméricos às chapas que fazem as guias, de acordo com o referido na secção 4.2. Se houver necessidade, por motivos do fim do rolo de perfil por exemplo, poderá haver novos pontos de fixação ao longo da subida. Em qualquer situação, deverá ser deixada uma folga para acautelar variações dimensionais de origem térmica nos perfis. As restantes fixações existentes nestes dois módulos são asseguradas por parafusos M6.

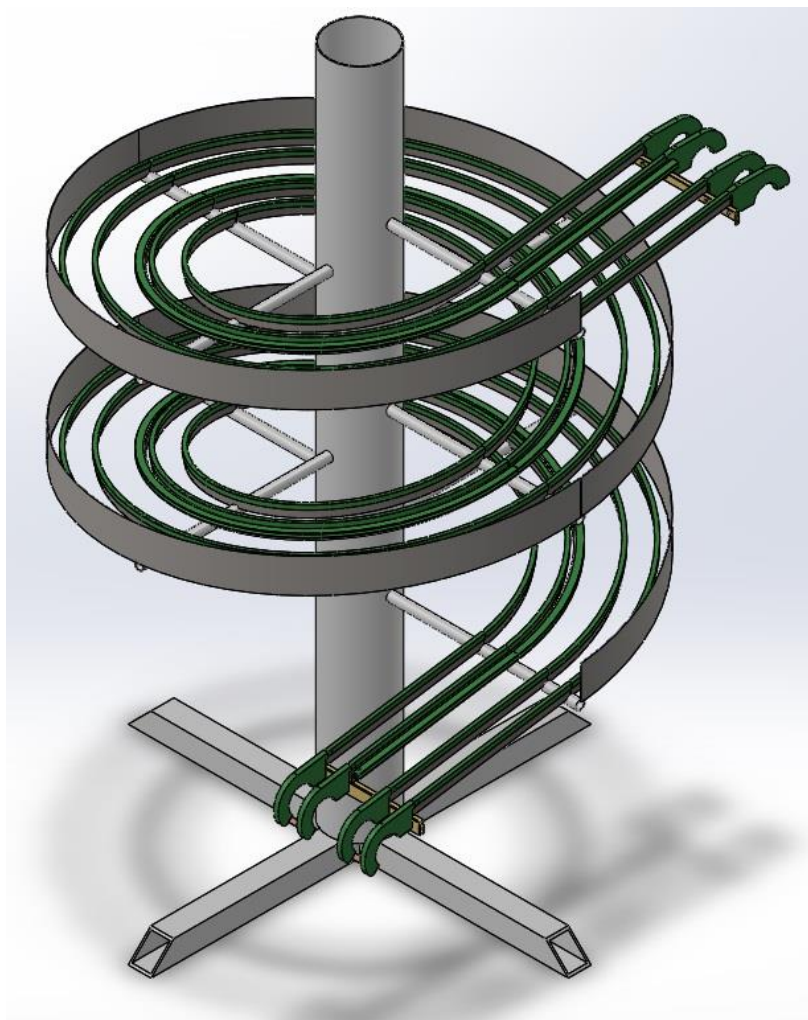


Figura 4-24 – Aplicação dos módulos de entrada e saída no TEG.

Módulo de Envio e as Suas Ligações

Módulo de envio é o nome que se utiliza na gíria dos transportadores industriais para descrever o módulo onde está instalado o acionamento do transportador e que, portanto, efetua o “envio” da corrente, no sentido em que a propulsiona. No caso do TEG, este encontra-se no topo do transportador, como já foi referido.

A sua construção é obtida por meio de duas chapas quinadas formando um “U” e soldadas entre si, apresentadas nas Figura 4-25, Figura 4-26 e Figura 4-27. O módulo liga-se à estrutura principal através do último dos braços horizontais e ao módulo de retorno (descrito na secção “Módulo de Retorno”) por uma ligação soldada entre as chapas de ambos. Estas são de 3 mm de espessura e nelas estão apoiados:

- O corpo do módulo de saída responsável pela fixação das calhas e das guias poliméricas;
- As chumaceiras onde estará apoiado o veio de acionamento;
- O braço de binário responsável pela manutenção do correto posicionamento do motorreductor.

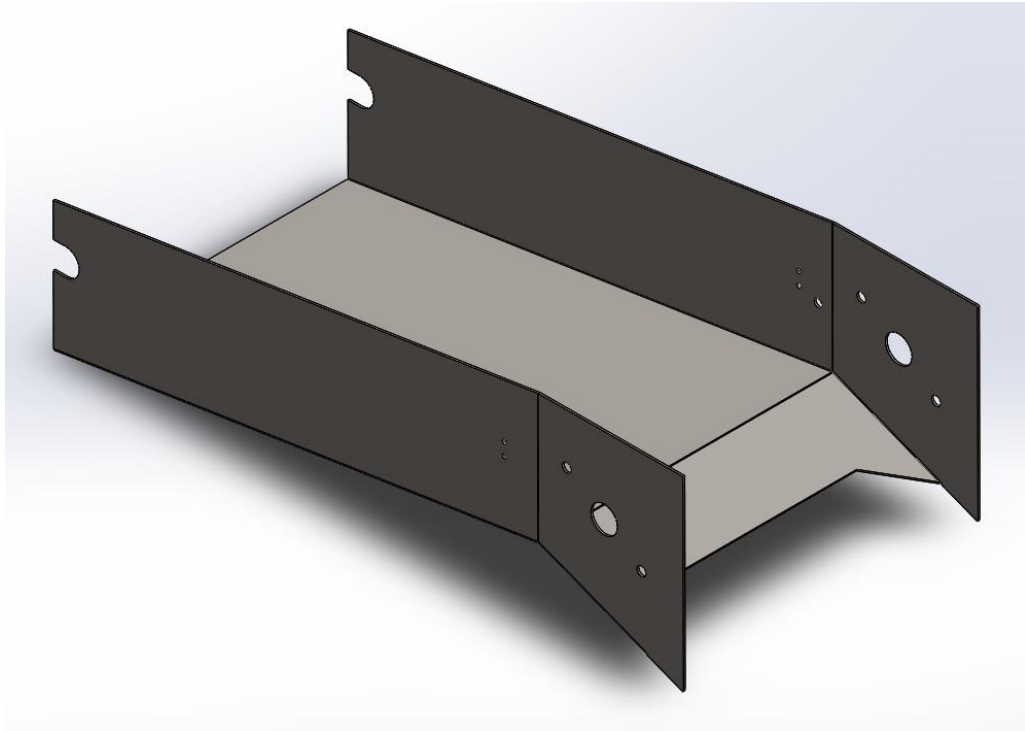


Figura 4-25 – Chapas constituintes do módulo de envio.

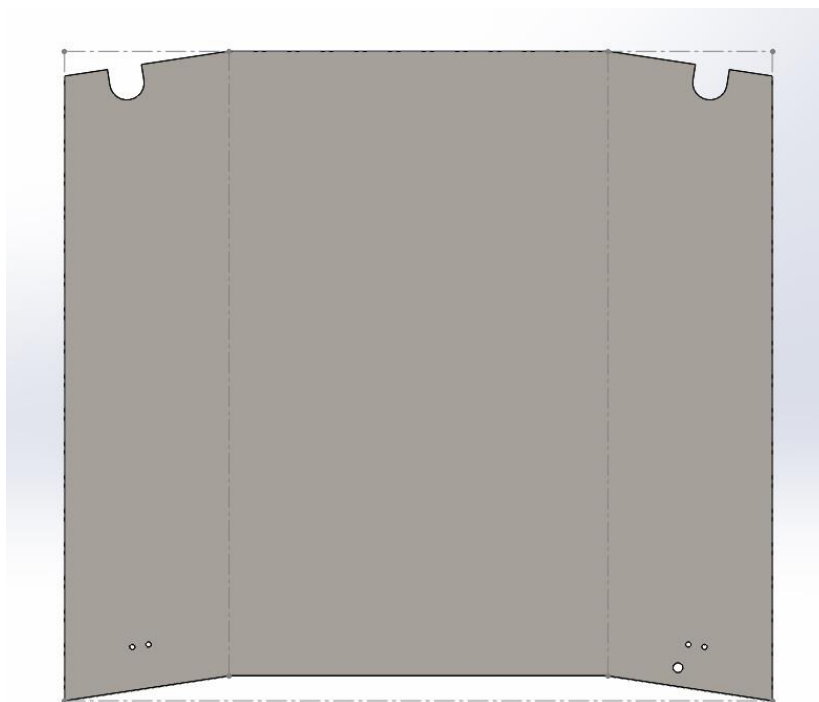


Figura 4-26 – Planificação da chapa maior do módulo de envio.

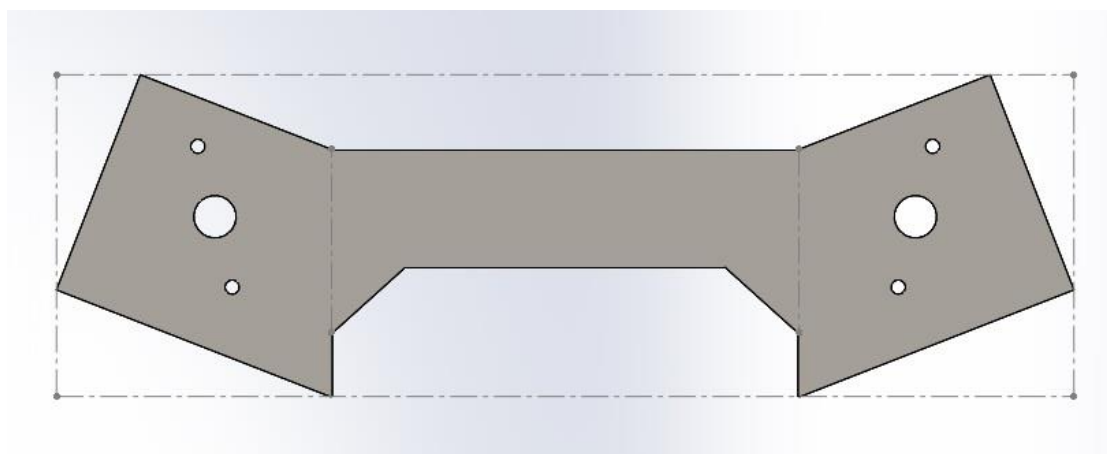


Figura 4-27 – Planificação da chapa menor do módulo de envio.

A ligação ao módulo de saída é feita através de parafusos M6 aplicados entre as paredes laterais do módulo de envio e o corpo de fixação das chapas e guias poliméricas.

As chumaceiras escolhidas necessitavam de se adequar simultaneamente aos requisitos do veio, definidos na secção 4.4, e às necessidades espaciais deste módulo. Para facilitar os seus processos de montagem e manutenção, assim como para não comprometer a integridade da chapa, definiu-se que as chumaceiras deveriam ser montadas de antemão e aparafusadas diretamente à chapa. Quer isto dizer que não entram no módulo com o veio já aplicado, por exemplo verticalmente. Assim, o veio terá que ser introduzido ou removido das chumaceiras ao longo do seu eixo. Esta configuração implica que pelo menos uma das chumaceiras teria que ter o seu diâmetro interior de 40 mm, para permitir a passagem do veio. Por uma questão lógica e de racionalidade do número de componentes diferentes no transportador, considerou-se que todas as quatro chumaceiras (de ambos os veios) deveriam ser iguais e com um diâmetro interior de 40 mm.

A escolha das chumaceiras foi efetuada a partir de um catálogo da SKF, tendo o diâmetro do furo como principal *input*. Convinha igualmente que fosse uma chumaceira com um pequeno atravancamento, pelo que se optou pela de referência FYTB 40 TF, uma chumaceira oval suportada por dois parafusos M12, representada na Figura 4-28. Para garantir que com o passar do tempo estes não se desapertavam, devido às vibrações induzias pelo motor elétrico, foram acoplados juntamente com duas fêmeas com frenagem interna.

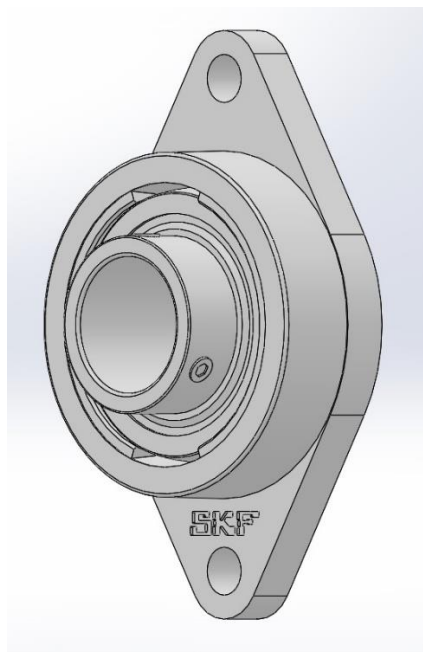


Figura 4-28 – Representação tridimensional da chumaceira selecionada.

Como resultado da escolha das chumaceiras, ficam indiretamente definidas as configurações de ambos os veios, continuamente com 40 mm de diâmetro ao longo da largura do transportador. No caso do veio ativo há ainda a ponta de ligação ao acionamento, essa sim maquinada a 35 mm. A opção de um veio a direito, sem ressalto, tem ainda a vantagem de reduzir o seu custo de produção, mesmo que subindo a sua massa em contrapartida.

A roda que aciona a corrente foi escolhida de acordo com o passo da corrente metálica, 1''. No universo dos transportadores industriais, costuma utilizar-se a regra empírica de escolher engrenagens com um número de dentes compreendidos entre os 20 e os 30. Para uma roda com um passo elevado, como uma polegada, esses valores acarretam diâmetros exteriores elevados, que podem tornar a roda grande demais para esta aplicação, pelo que convinha efetuar a escolha na parte inferior do intervalo. Assim, optou-se por uma roda de 21 dentes, cujo diâmetro exterior é de aproximadamente 184 mm. Pretendia-se que esta possuísse castelo de um dos lados para assegurar uma maior superfície de contacto com a chaveta e para permitir a sua fixação, pelo que se optou pela configuração DIN 8192 – B 21Z – 16A-1, representada na Figura 4-29. Este tipo de roda é habitualmente fornecido com um furo central de pequena dimensão, cabendo ao cliente a tarefa de o alargar para o diâmetro do veio pretendido.

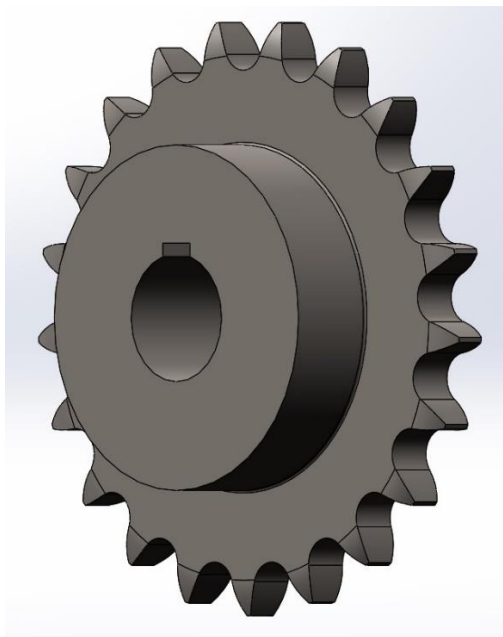


Figura 4-29 – Representação tridimensional da engrenagem selecionada.

O braço de binário utilizado tem como função impedir a rotação do motorreductor juntamente com o veio. Ao ligar o motorreductor ao corpo do transportador, fixa-o na posição pretendida. Por motivos de atravancamento decidiu-se que o acionamento ficaria na vertical e o braço de binário na horizontal, aparafusado à chapa lateral do módulo de envio. O braço escolhido é um componente padrão e de uso comum, já existente na biblioteca de componentes da JPM e apresentado na Figura 4-30. Por forma a absorver movimentos parasitas é aplicado na sua ligação ao transportador um anel de borracha. Este funciona simultaneamente como amortecedor e absorvedor de vibrações, acrescentando à estabilidade deste módulo.

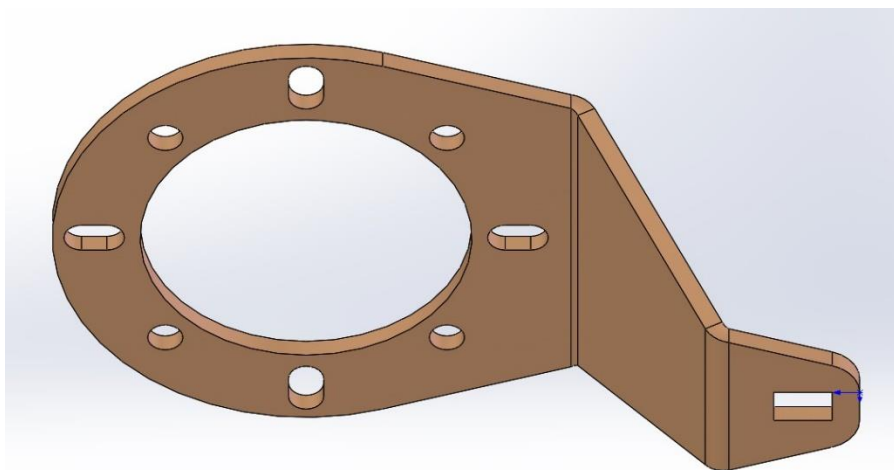


Figura 4-30 – Braço de binário selecionado para o TEG.

Assim, o módulo de envio e as suas ligações e montagens ficam integralmente definidos e podem ser observados na Figura 4-31. É possível proceder ao fabrico e montagem do módulo de forma totalmente independente dos restantes componentes do transportador e, caso haja

interesse ou necessidade, proceder à sua ligação com os componentes referidos de forma igualmente independente.

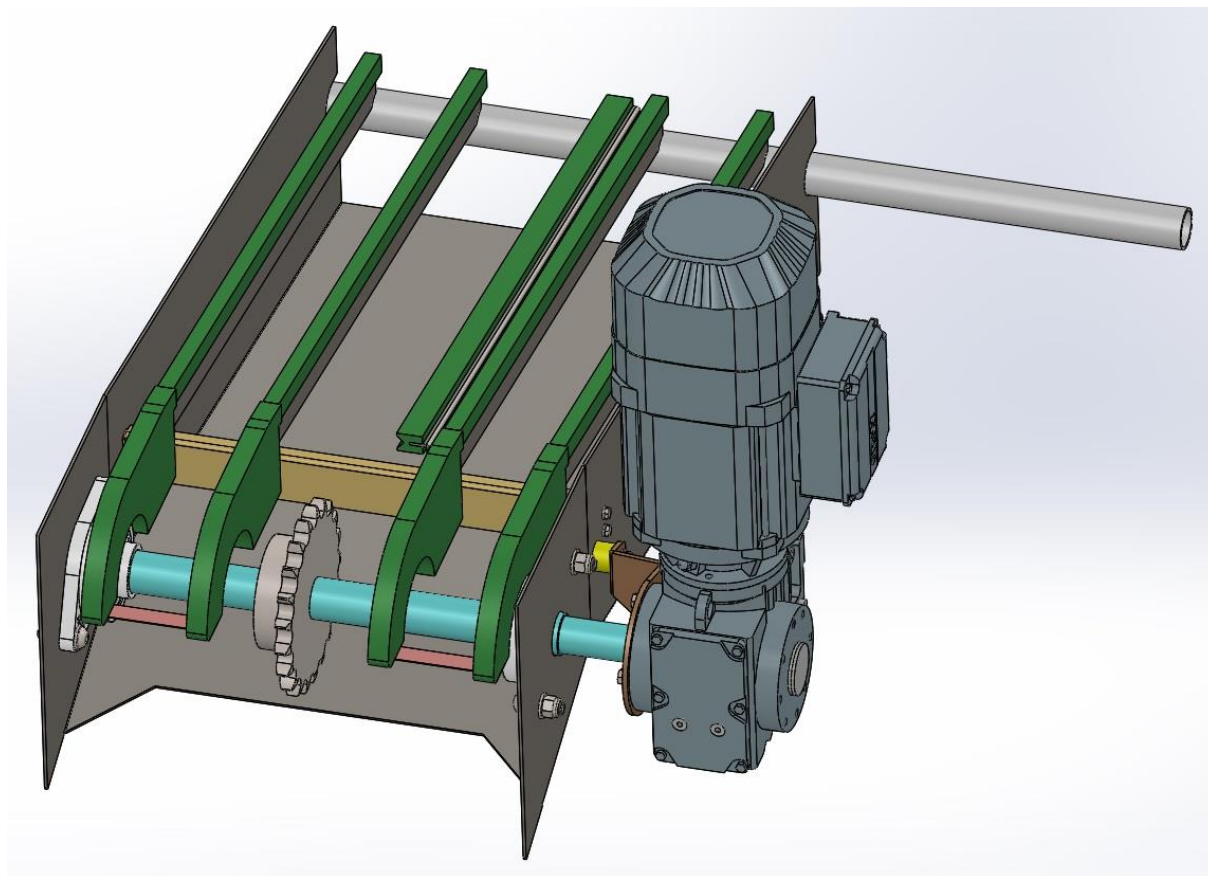


Figura 4-31 – Montagem completa do módulo de envio e componentes anexos.

Módulo de Reenvio e as Suas Ligações

O módulo de reenvio é semelhante ao módulo de envio no conceito, mas cumpre a função inversa. Este módulo é responsável por inverter o sentido de deslocação da corrente, neste caso conduzindo-a do retorno horizontal para a subida em espiral, pelo que se encontra no fundo do transportador. É constituído por uma única chapa quinada em “U”, onde estão fixadas as chumaceiras e o corpo terminal do módulo de entrada. Está ligado à estrutura principal do mecanismo através do primeiro braço horizontal e ao módulo de retorno através da soldadura das chapas de ambos.

Como o veio que é montado neste módulo roda livre, não há necessidade de acoplar tantos componentes como no caso do módulo de envio, pelo que as ligações do módulo de reenvio são consideravelmente mais simples. O próprio veio é liso e com a largura do transportador, no qual está montada uma roda igual à anterior. A escolha de rodas iguais prende-se essencialmente com a lógica de uniformizar os componentes do transportador sempre que possível, evitando a multiplicidade de referências. Nas imagens que constituem a Figura 4-32 e a Figura 4-33, respetivamente, pode observar-se o módulo de reenvio *per se* e após a sua montagem.

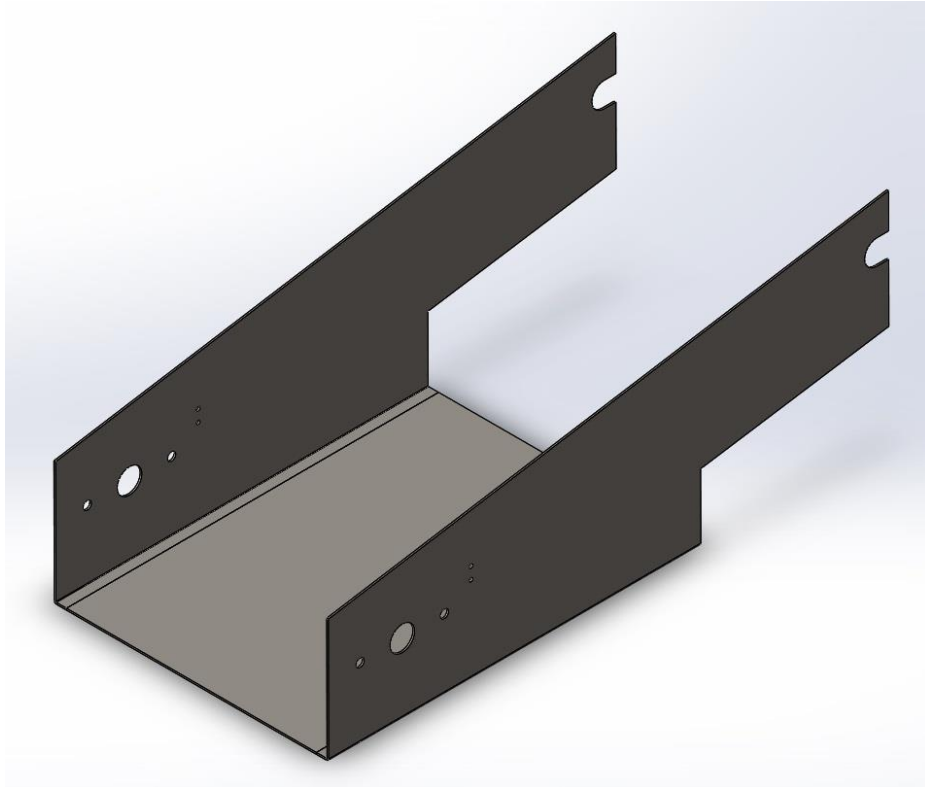


Figura 4-32 – Módulo de reenvio.

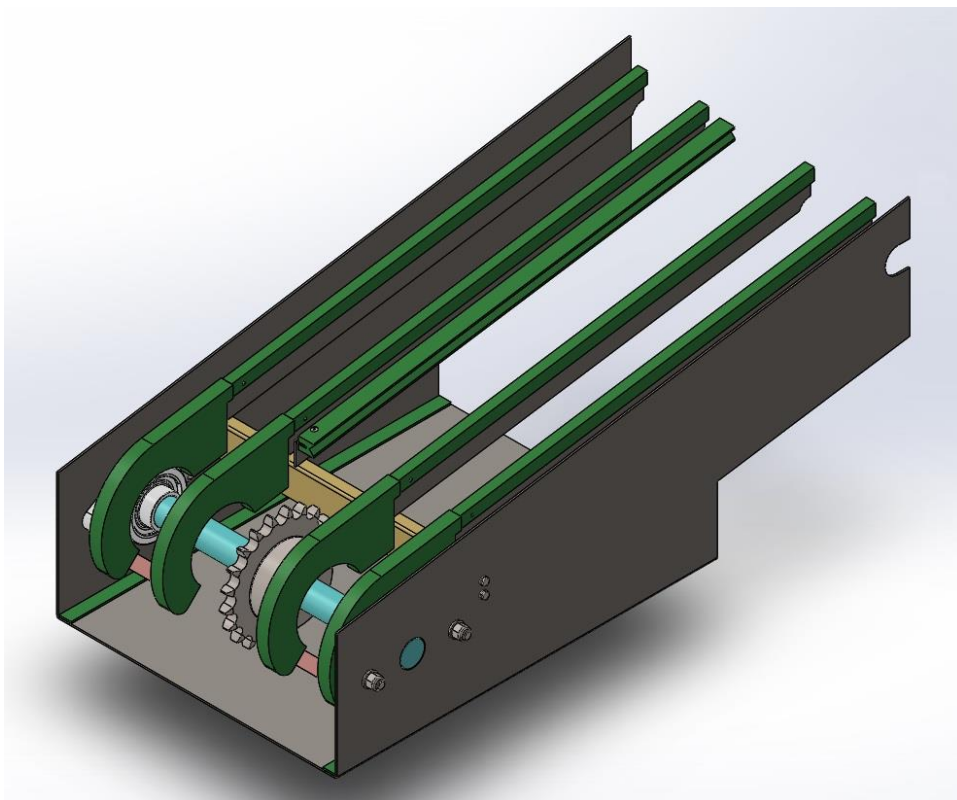


Figura 4-33 – Montagem completa do módulo de reenvio e componentes anexos.

É importante referir que, tal como os módulos anteriores, este pode ser pré-montado em separado. Esta característica é útil em termos de produção mas também de armazenamento,

permitindo a preparação de montagens intermédias antes da montagem do transportador na sua totalidade.

Módulo de Retorno

O módulo de retorno consiste no conjunto de corpos que fazem a ligação entre os módulos de envio e reenvio. É constituído por um troço vertical, por baixo do módulo de envio, e por um troço horizontal, antes do módulo de reenvio. A sua construção é em chapa de 3 mm, idêntica à dos módulos adjacentes. Apesar de diferentes em termos geométricos, as duas chapas que o constituem tem ambas uma configuração em “U” e podem ser observadas nas imagens apresentadas na Figura 4-34 e na Figura 4-35.

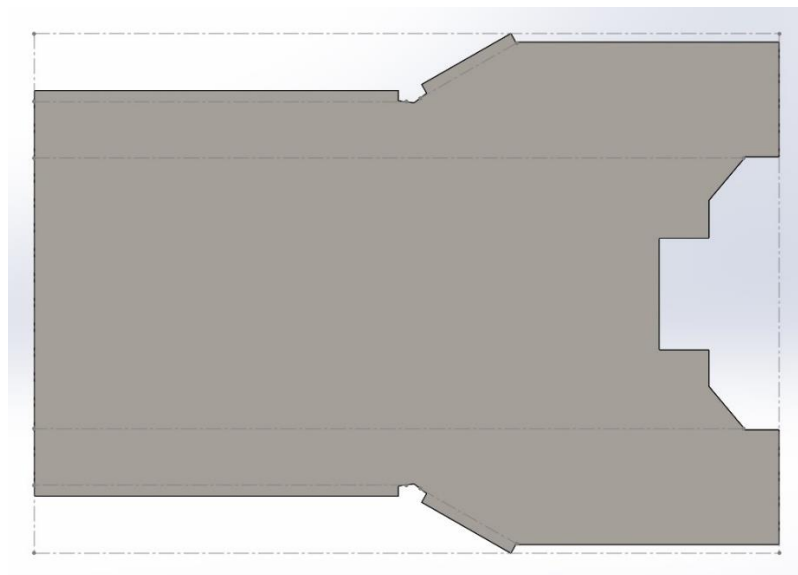


Figura 4-34 – Chapa horizontal do módulo de retorno.



Figura 4-35 – Chapa vertical do módulo de retorno.

Num transportador industrial, assim como em qualquer sistema cuja transmissão é assegurada por uma corrente metálica, a catenária é um ponto importante do seu projeto. Habitualmente esta encontra-se imediatamente após o acionamento, mas no caso de um transportador em espiral elevatório, após o acionamento encontra-se um troço de descida vertical, pelo que a corrente não tem oportunidade de folgar. Assim, a catenária destes mecanismos encontra-se no início da fase horizontal do retorno, imediatamente após a transição vertical-horizontal. É, pois, essencial garantir um bom guiamento da corrente antes desse fenómeno para assegurar que esta não se descontrola, assim como é essencial garantir que existe espaço suficiente no início do troço horizontal para acomodar a folga da corrente.

Nesse sentido, o módulo de retorno integra uma engrenagem que assegura o engrenamento e guiamento da corrente durante a curva de 90°. Esta está apoiada num veio fixo, ligado à chapa do módulo por dois parafusos M8. Como o veio é fixo, dado não existir necessidade de aplicar duas chumaceiras, terá a roda que ser do tipo roda mais rolamento para poder rodar livremente. Este tipo de componente é comum em aplicações industriais para tensionar correntes, uma aplicação similar a esta. Como o esforço pedido à roda é inferior aos dois casos anteriores (não tem acionamento e o ângulo de contacto com a corrente é reduzido), aliado a maiores restrições espaciais, levou a que se optasse por uma roda de 16 dentes para esta aplicação. Assim, escolheu-se a roda de norma DIN 8192 – A 12Z 16B-1, na versão com rolamento interior.

Este guiamento, no entanto, deve poder acomodar alguns movimentos ou desalinhamentos que a corrente possa trazer, na medida em que é virtualmente impossível garantir o alinhamento perfeito da corrente entre as 3 engrenagens. Assim, optou-se por deixar a roda livre no veio, podendo variar a sua posição entre dois travões montados no mesmo, que distam entre si duas vezes a largura da roda. Além disso, considerou-se igualmente importante apoiar as tiras da corrente durante a curva, tal como na entrada e saída do transportador. Consequentemente, foram aplicadas duas guias poliméricas de funcionamento idêntico às dos outros módulos, montadas no veio e presas à estrutura do módulo de retorno. Esta montagem está apresentada na Figura 4-36.

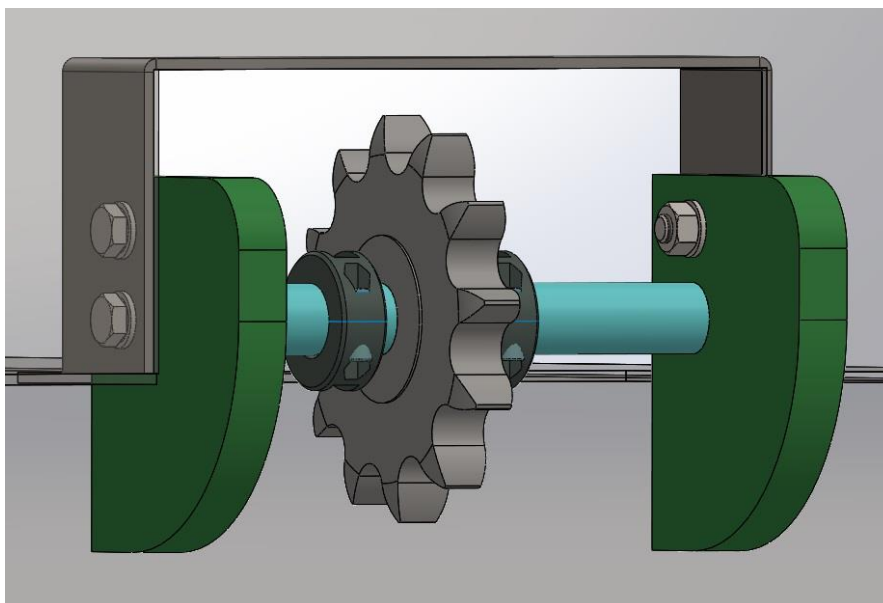


Figura 4-36 – Montagem dos componentes existentes na transição vertical-horizontal do módulo de retorno com vista ao guiamento da corrente.

Para a definição da catenária, como esta é função do tipo de transportador e das características da corrente, foi pedida orientação à Rexnord. No entanto, esta não foi capaz de fornecer dados específicos para esta corrente ou esta aplicação, ao mesmo tempo que assumiu que o processo de cálculo habitual não se enquadraria na perfeição para esta situação, sobretudo dadas a massa elevada e as dimensões da corrente superiores ao normal. Nestas condições, mesmo assumindo as limitações do processo de cálculo padrão, este era a única opção disponível. Assim, recorreu-se ao *Engineering Manual* da Rexnord [21], que fornece como indicação o esquema da Figura 4-37.

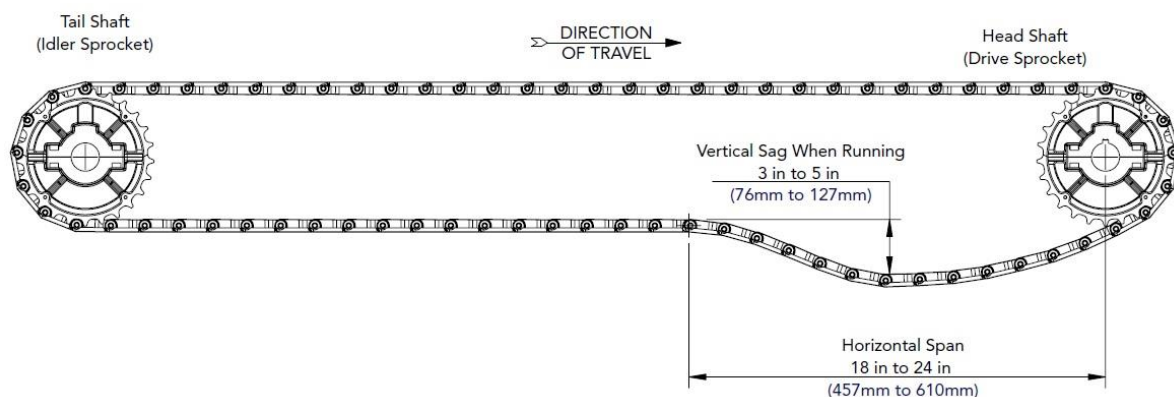


Figura 4-37 – Esquema de definição da catenária de um transportador (adaptado de [21]).

Consideraram-se para o TEG os valores de catenária de acordo com a informação apresentada na Figura 4-37, ou seja, valores entre os 76 mm e os 127 mm na vertical e entre os 457 mm e os 610 mm na horizontal. Como o método de seleção não é pensado especificamente para a aplicação e a corrente utilizadas, estes valores terão que ser devidamente validados com um ensaio prático, aquando da construção do protótipo. Para acomodar esta folga na corrente, o perfil do troço horizontal foi ajustado na medida necessária.

Para permitir que a corrente viaje suavemente pelo troço horizontal do módulo de retorno, este foi pensado com duas abas laterais de 20 mm onde foram instalados perfis de deslizamento. Assim, a corrente desloca-se apenas apoiada nas suas extremidades, com um mínimo de atrito possível. O início dos perfis é na parte inclinada do troço horizontal, por forma a acomodar a corrente em recuperação da catenária, e estendem-se até ao final do módulo de reenvio, garantindo assim um apoio constante e uniforme da corrente. Princípio equivalente foi aplicado no troço vertical do módulo de retorno, neste caso mais por motivos de precaução, para evitar o desgaste da corrente decorrente do contacto com superfícies metálicas. Em ambos os casos, o perfil de deslizamento escolhido foi o de referência LK20 do catálogo da Habasit [17].

A montagem completa do módulo de retorno pode ser observada na Figura 4-38.

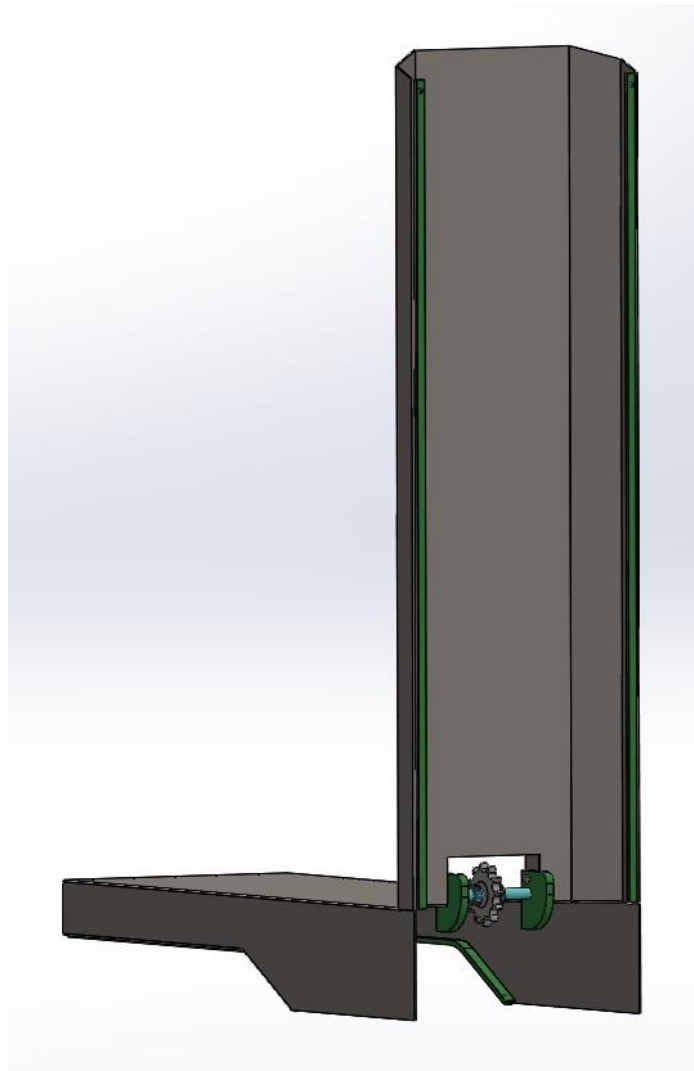


Figura 4-38 – Montagem completa do módulo de retorno.

Suporte e Blindagem da Estrutura Periférica do TEG

Ao conjunto dos módulos de envio, reenvio e retorno pode ser dado o nome de estrutura periférica do TEG, apresentada na Figura 4-39. Esta é responsável por praticamente todas as funções do mecanismo, excetuando a subida em espiral e o suporte da máquina, e nela estão apoiados diversos outros módulos, como por exemplo o acionamento.

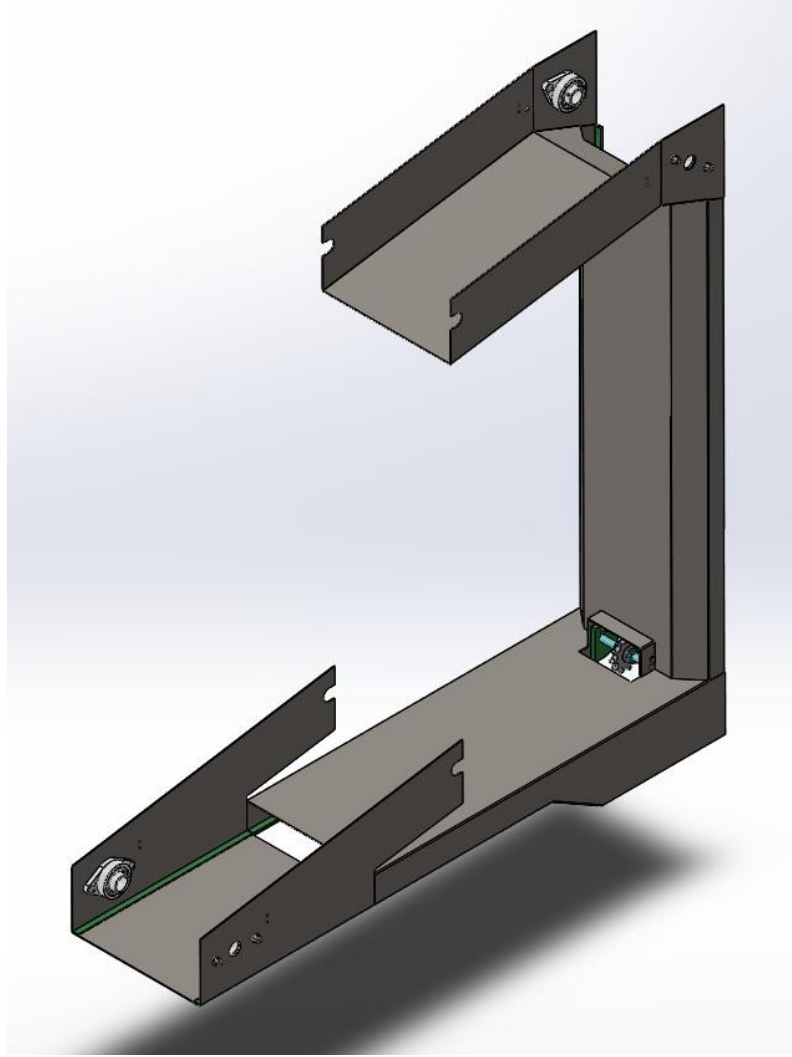


Figura 4-39 – Estrutura periférica do TEG.

Dada a sua dimensão, por um lado, e a sua excentricidade, por outro, esta estrutura periférica não pode ser suportada somente pelos braços horizontais idealizados para a espiral. Assim, foram acrescentados à estrutura principal dois novos braços horizontais especificamente pensados para o suporte deste conjunto. Estes têm origem na coluna central e prolongam-se em direção aos módulos de envio e reenvio, suportando a estrutura periférica por debaixo destes. A carga que os braços devem suportar é constituída pela soma dos pesos da estrutura periférica (cujo valor resulta de uma estimativa baseada na informação fornecida pelo *software* de desenho tridimensional), M_{EP} , do motorreductor, M_m , e das embalagens na entrada e na saída (um volume em cada), m_{emb} , como descrito na equação (4.74).

$$F_{EP} = (M_{EP} + 2 * m_{emb} + M_m) * 9,81 \leftrightarrow \quad (4.74)$$

$$\leftrightarrow F_{EP} = (85 + 2 * 50 + 36) * 9.81 = 2168,01 \text{ N} \quad (4.75)$$

Considerando que o seu comprimento é de 1060 mm, isso resulta num momento fletor como o descrito na equação (4.76).

$$M_f^{EP} = F_{EP} * L_{BEP} \leftrightarrow \quad (4.76)$$

$$\leftrightarrow M_f^{EP} = 2168,01 * \frac{1060}{1000} = 2298,09 \text{ Nm} \quad (4.77)$$

Considerando novamente a equação (4.30), utilizada aquando do dimensionamento dos braços horizontais da estrutura principal, vem que

$$w = 2298,09 * \frac{1,5}{275} = 12,54 \text{ cm}^3 \quad (4.78)$$

Esta situação corresponderia ao caso de a carga ser aplicada na extremidade de um dos braços. Na realidade, a carga será distribuída pelos dois e o seu ponto de aplicação é variável com a passagem das embalagens. Nesse sentido, e com o intuito de acautelar situações excepcionais e imprevisíveis, considerou-se que faria sentido haver redundância nos apoios. Assim, cada um deles seria capaz de suportar a estrutura periférica verticalmente e a sua combinação garantia o correto posicionamento desta. Foi então considerado um perfil tubular retangular de 80 mm de altura e 40 mm de largura, cujo $w = 13 \text{ cm}^3$ [15]. No caso do braço superior, como está em contacto com a superfície inferior do módulo de reenvio, que é inclinada, considerou-se que seria mais vantajoso se este fosse circular. Definiu-se então que o braço seria de secção retangular até à vizinhança do módulo de envio, sendo circular quando em contacto com este. Estas soluções podem ser observadas na Figura 4-40.

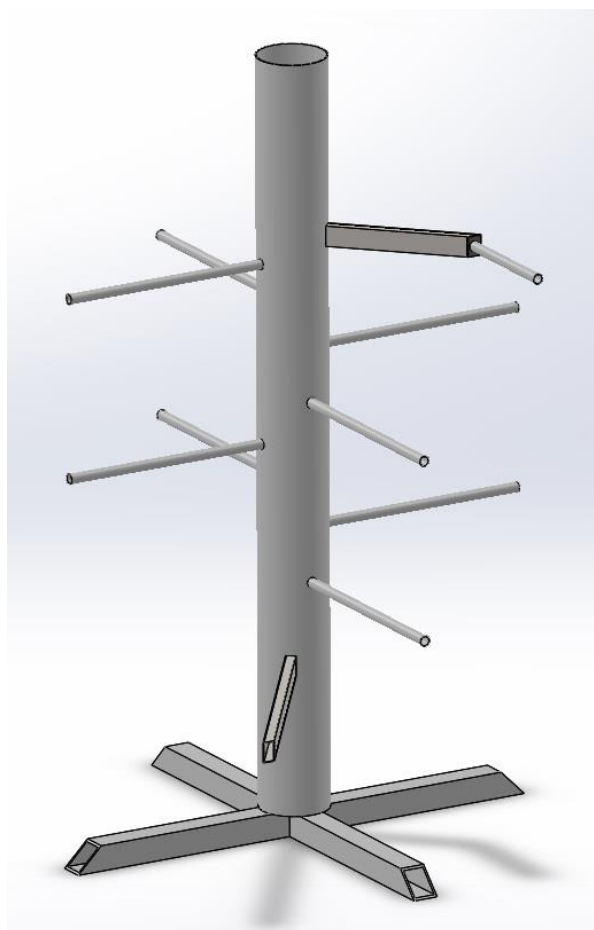


Figura 4-40 – Estrutura principal do TEG com os braços de suporte da estrutura periférica acrescentados.

Foi também considerado que, tal como no caso da espiral, fazia sentido haver blindagens exteriores nas laterais dos módulos de envio e reenvio. No primeiro caso, esta apenas faz sentido do lado de fora do transportador, dada a inacessibilidade do lado de dentro. Optou-se assim por prolongar do lado de fora a blindagem da espiral até à saída do transportador. No segundo caso, a necessidade de blindagem impunha-se dos dois lados. No exterior, a solução utilizada foi idêntica à do módulo de envio, com o simples prolongamento da blindagem da espiral. No lado

interior, considerou-se que além de blindar o acesso à corrente, fazia igualmente sentido impedir o acesso ao interior do transportador, pelo que se uniu a blindagem à coluna central. Assim, esta acompanha o módulo de reenvio até ao seu braço de suporte, divergindo em seguida em direção à coluna central. Estas soluções podem igualmente ser observadas na imagem da Figura 4-41, que agrega todos os módulos apresentados.

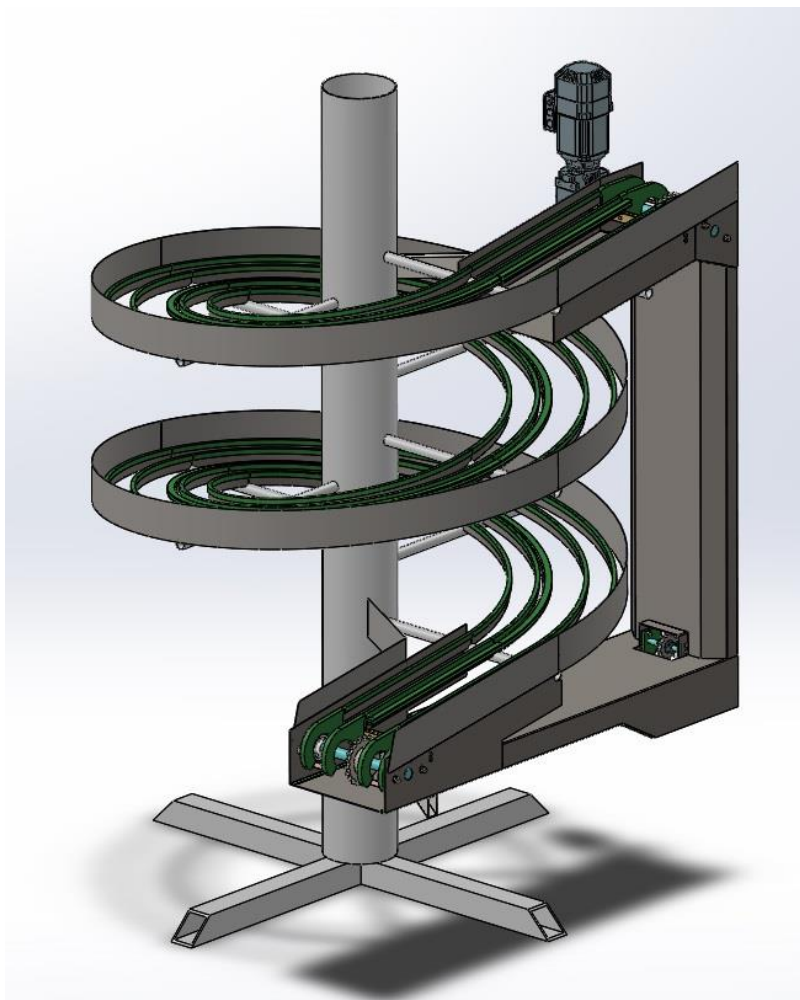


Figura 4-41 – Representação do TEG com todos os módulos agregados.

Tirantes de Suporte da Coluna Central

Após a inclusão dos módulos desenvolvidos na estrutura principal do TEG, como apresentado na Figura 4-41, considerou-se que faria sentido acrescentar algum apoio lateral à coluna da estrutura principal. O posicionamento da massa da estrutura periférica, desviada da coluna, gera um momento fletor nesta. Como já foi analisado, a coluna é capaz de o aguentar, mas a sua ligação soldada à base poderá não ser suficiente para garantir o seu alinhamento vertical permanente. Assim, foram acrescentados quatro tirantes entre a coluna e os pés da estrutura, construídos a partir de chapa de 4mm e colocados a 45°. Deste modo, garante-se o correto alinhamento da estrutura ao longo do tempo.

A configuração final do TEG pode então ser observada na imagem da Figura 4-42.

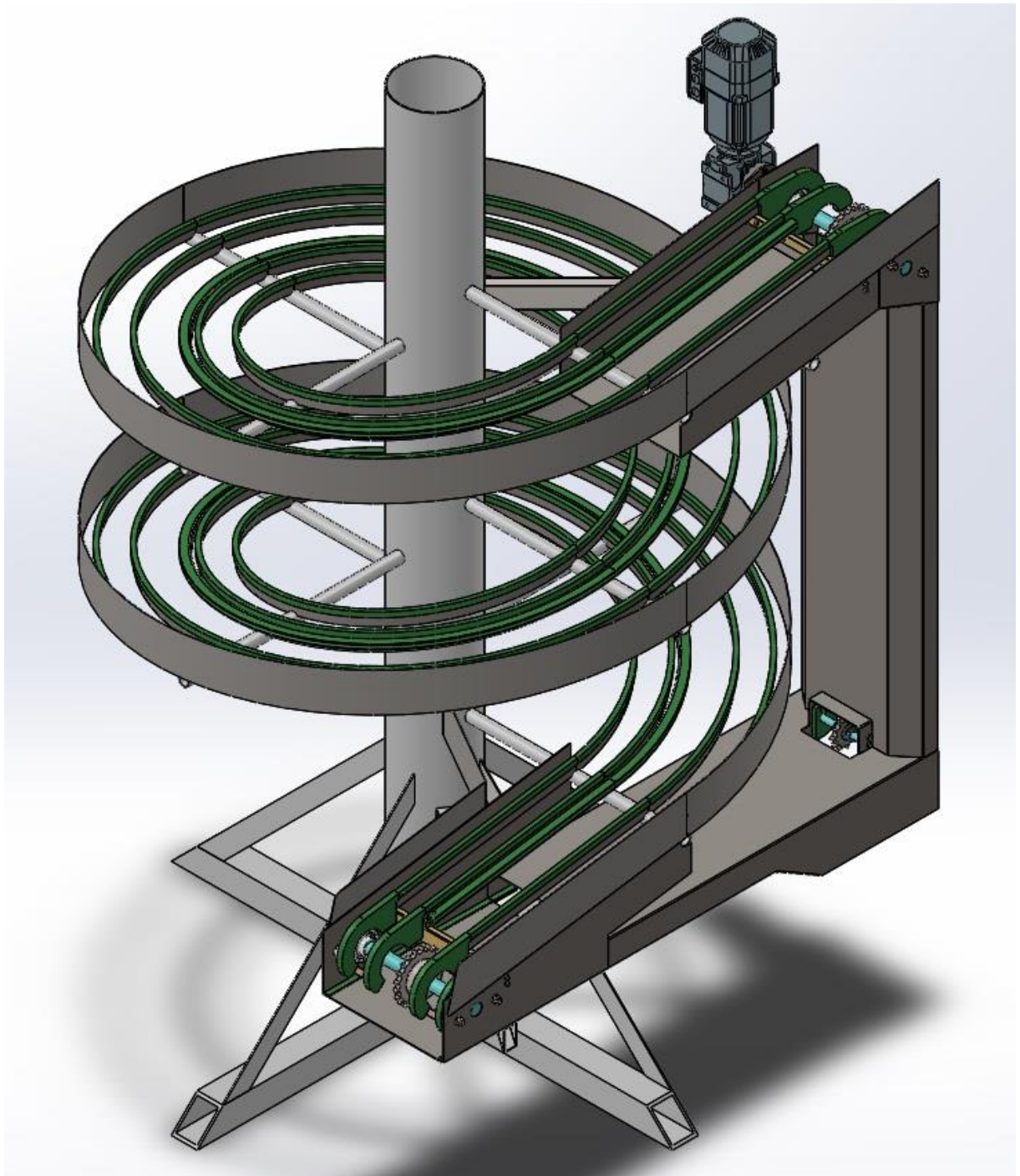


Figura 4-42 – Configuração final do TEG.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusões

O principal objetivo a que este projeto se propunha era o de conceber um transportador em espiral adequado à realidade da JPM, o que foi alcançado. O conceito apresentado, o TEG, explora as capacidades produtivas existentes no seio da empresa, partindo de materiais de fornecedores conhecidos e de confiança. Mais importante ainda, o TEG responde às necessidades dos clientes da JPM com um conjunto de características construtivas e funcionais em linha com o que tem vindo a ser requerido.

Quando em comparação direta com o transportador da AmbaFlex utilizado como objetivo, o TEG está claramente a par em termos de capacidade de carga, velocidade de funcionamento e qualidade construtiva. As suas dimensões são superiores, o que implica ocupar um maior espaço nas instalações do cliente, é certo, mas a diferença não é significativa ao ponto de servir como condicionante. Mais importante é a questão temporal da obtenção da máquina: o TEG tem um prazo de entrega de 6 semanas, na pior das hipóteses, ao passo que o concorrente tem um prazo de entrega mínimo de 8 semanas. Inicialmente foi definido o objetivo de só trabalhar com componentes com prazos de entrega inferiores a 4 semanas, o que foi alcançado quase na totalidade – a única exceção foi a corrente, cujo prazo são as referidas 6 semanas. Esta condicionante poderá vir a ser contornada, se necessário, caso a JPM esteja disposta a ter sempre corrente em *stock*.

Resultou também do processo de desenvolvimento do TEG um modelo construtivo, baseado em módulos, que poderá ser com alguma facilidade ajustável a qualquer transportador em espiral pedido no futuro. Haverá sempre necessidade de alterar parâmetros, sobretudo dimensões, mas a forma como a construção do transportador foi pensada permite grande flexibilidade nessa reconfiguração.

É também importante referir a relevância que a procura e escolha da corrente utilizada teve neste projeto e terá no futuro do mecanismo. Não só devido à questão do prazo de entrega, como também em termos dos custos que representa, onde é o componente/matéria-prima mais representativo no preço final, mas sobretudo devido à importância que teve na conceção de todo o transportador. A escolha desta corrente representa uma relação de dependência para o futuro, mas também um passo em frente inovador na disponibilização no mercado de um transportador em espiral diferente da regra.

5.2 Trabalhos Futuros

Uma vez concluída esta dissertação é sugerido um conjunto de trabalhos futuros para dar continuidade ao desenvolvimento e otimização do TEG.

O primeiro dos quais consiste numa análise dinâmica do mecanismo, uma vez que só foi realizada uma análise estática. Este procedimento não é padrão no seio da empresa nem no desenvolvimento habitual da maioria dos transportadores, mas poderá fazer sentido neste caso concreto dado o espaçamento e excentricidade das cargas face à estrutura.

O passo seguinte será a construção do protótipo, por forma a validar e testar as soluções descritas neste documento. Certamente que existem pontos a melhorar e falhas a corrigir que só serão detetadas em situação de trabalho. Esta validação é essencial para determinar a viabilidade do TEG e, conseqüentemente, se faz sentido prosseguir com a produção deste equipamento.

Uma vez validado o protótipo, será então altura de expandir a gama do TEG através das adaptações necessárias a diferentes aplicações. Dadas as aplicações no ramo alimentar que se antevêm, fará sentido criar uma versão em aço inoxidável e totalmente apta para obedecer às restrições deste tipo de indústria. Será também relevante a adaptação deste transportador para funcionar no sentido inverso, a descer. Poderão também ser estudadas soluções de maior ou menor carga, que merecerão as suas próprias otimizações.

Referências e Bibliografia

- [1] Grupo JPM, “JPM Indústria”, último acesso: março de 2017, www.jpm.pt.
- [2] Bernardo, Luís C. “Projeto de máquina de corte e furação de perfil / standard work de montagem de produtos standard JPM”, 2015, FEUP.
- [3] AmbaFlex, “AmbaFlex”, último acesso: março de 2017, www.ambaflex.pt.
- [4] Apollo Group, “Apollo”, último acesso: março de 2017, www.apollobv.com.
- [5] Ryson International, “Ryson”, último acesso: março de 2017, www.ryson.com.
- [6] Jonge Poerink, “Jonge Poerink”, último acesso: março de 2017, www.jpconveyors.com.
- [7] Habasit, “HabaCHAIN – Slat and Conveyor Chains – Product Guide”, 2016.
- [8] Rexnord, “TableTop and MatTop Products”, 2016.
- [9] Habasit, “Habasit”, último acesso: março de 2017, www.habasit.com.
- [10] Rexnord, “Rexnord”, último acesso: março de 2017, www.rexnord.com.
- [11] Movex, “Movex”, último acesso: março de 2017, www.movexii.com.
- [12] Premier Tech, “Premier Tech Chronos”, último acesso: março de 2017, <http://www.ptchronos.com/en-pa/products/high-level-palletizing/small-high-level-palletizer/?source=picture&value=1>.
- [13] Ammeraal Beltech, “Ammeraal Beltech Modular – Innovative belt and chain solutions for every industry & application”, 2016.
- [14] Regina Chain, “General Catalogue”, 2016.
- [15] Ferpinta, “Catálogo Técnico”, 2ª Edição, 2007.
- [16] Reis Gomes, C. “Mecânica das Estruturas”, 2014, FEUP.
- [17] Habasit, “HabiPLAST – Guides for roller chains and belts, extruded profiles and accessories”, 2016.
- [18] Easecon, “Engineering Manual”, último acesso: março de 2017, <http://www.easecon.com.tw/English/04%20Engineering%20Manual/415%20Calculation%20Examples/06%20Spiral%20Conveyor%20e.html>.
- [19] SEW Eurodrive, “Drive Configurator”, último acesso: março de 2017, <https://www.sew-eurodrive.pt/os/catalog/Default.aspx?noisareset=1>.
- [20] Tavares de Castro, P. M. S. “Dimensionamento à fadiga”, 2014, FEUP.
- [21] Rexnord, “Engineering Manual – Rexnord MatTop and TableTop Chain – Issue 3”, 2016.

ANEXO A:

Folha de Parâmetros do Transportador em Espiral da AmbaFlex

Technical specification:

no. Oxx.xx SO

page 1/4

**Pos 01 AmbaFlex® SpiralVeyor®
S/N 24574.01**
Introduction

Build up		
Machine code	SV-400-1300-747-RS-2-B-17-TU-TPSHF1	(500)

Base machine static parts

Frame		
Outside dimension square	1780 mm	(562)
Diameter of the chain centre line (d2)	1300 mm	(561)
Belt width	400 mm	(560)
Spiralveyor type	SV-400-1300	(153)
Pitch (z)	747 mm	(347)
Material	Stainless steel 304	(159.)
Material	Full Stainless Steel	(201)
Finishing	Glass blasted	(389)
Number of windings	2 windings	(160)
In / out feed configuration	B	(162)
Lower end height	Standard floor range mounted 1100 mm (h1)	(171)
Upper end height	Floor mounted 2800 mm (h3)	(348)
Height difference (h2)	1700 mm	(370)
Slope angle (α)	10,36 °	(371)
Column diameter	Frame column, full size. Column diameter D4= 324 mm	(563)
Feet	Stainless steel feet -60/+90 mm adjustable (AmbaFlex model)	(179)
Supports	Standard floor mounting support frame	(175)
Track build up	Heavy duty	(942)

Base machine moving parts

Accessories		
Transfer options	Product transfer rollers 25mm, stainless steel (driven)	(451)
Slat belt options		
Slat type	TPS	(186)
High friction insert ratio	HF1 (100%)	(188)
Belt guide	Hybrid 1 (TR1)	(958)
Base chain	Stainless steel	(195)
Belt guide rollers	Stainless steel, RS-sealed	(430)
Shafts, sprockets and main bearings		
Shafts, sprockets and bearings	Stainless steel, RS seal	(197.)
Shaft length	Standard	(373)
Drive system		
Position of the motor(s) on the shaft	Motor positioned on the column side of the track	(204)
Motor orientation	Vertically up	(208)
Mounting	Drives supplied loose, to be mounted on site	(350)
Gear motor		
Voltage	380-500V(Y) 3ph 50/60Hz, mass and zero (Movimot)	(420)
Mechanical isolation class	IP55	(217)
Thermostatic isolation class	ISO F	(367)
Integrated frequency inverter	SEW Movimot 1:5	(718)
Special options	Special corrosion protection (KS)	(337)
Special options	Standard SEW conduit box	(475)
Speed and pull tension		
SEW speed / pull combination	SEW type KA37DRS71M4; v= 6 - 17 m/min; P=0,55 kW; n=17	(378)
	- 47 rpm; T= 112 Nm; fb 1,8; MM05 (row 516)	
Transport direction	Up (TU)	(242)

Signed for JPM Automação e Equipamentos Industriais S.A.

:

By (name) : _____

Date : _____

Technical specification:

no. Oxx.xx SO

page 2/4

Pos 01 AmbaFlex® SpiralVeyor®
S/N 24574.01
Special Base Machine Options

Special static parts	
Lower end	Total lower-end length, L1 = 870 mm (427)
Lower end	Horizontal lower-end length, L2 = 300 mm (428)
Upper end	Total upper-end length, U1 = 870 mm (433)
Upper end	Horizontal upper-end length, U2 = 300 mm (434)
Transport orientation	Horizontally (698)
Transport frames and options	Standard transport frame (700)

Accessories

Guide on the outside radius	
Guide plate	B style plate guide, 100 mm effective height, stainless steel (281)
Spacers on the outside radius	
Spacers for side guide	No Offset (915)
Maintenance features	
Chain service location	Chain service area in return channel (735)
Chain overlength detection	Chain overlength detection sensors 24V DC (736)
Alert options	Junction box: Polycarbonate (759)
Lubrication	
Manual Lubrication	Manual chain lubrication pump (Dropsa) (681)
Guarding	
Under guarding	Solid black polystyrene under the complete track (683)
Vertical return channel guarding	Return guarding in black polystyrene (951)

Spiralveyor system design

Machine capacity	
Total track length	10,1 m (558)
Minimum speed before overload (> 18 Hz)	At maximum indicated throughput the machine will overload below a speed of 6,1 m/min (729)
Use	
Operation environment	Wash down, stainless steel for damped operation and wet (566.) cleaning

Additional supplies

Miscellaneous	
Start Up Package	Standard set included (328)
Manuals	
Manual supplied with machine	1 copies English language (330)
Manual supplied with machine	1 copies Portuguese language (634)
Manual supplied with machine	1 copies Spanish language (414)
Digital manual	Digital manual in English language. (601)
Digital manual	Digital manual in Portuguese language. (617)
Digital manual	Digital manual in Spanish language. (621)
All manuals on CD	All manuals supplied to purchase address on 1 CD(s) (728)
Identification marker	
Type plate	AmbaFlex (480)
Sticker	AmbaFlex (481)

Product dimensions, weight & throughput

Rows	Product name	Length	Width	Height	Weight	Throughput	Product orientation
Single	Carton Box	240 mm	160 mm	220 mm	6,5 kg	23 /min	Short Side Leading
Single	Carton Box	600 mm	400 mm	220 mm	48 kg	4 /min	Short Side Leading

Signed for JPM Automação e Equipamentos Industriais S.A.

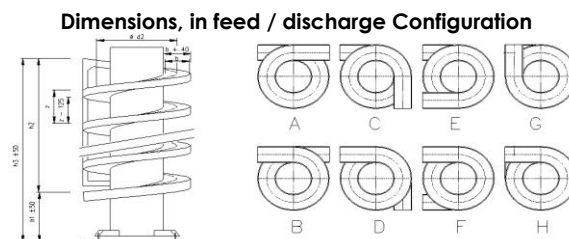
:

By (name) : _____

Date : _____

General remarks SpiralVeyor®

1. All '*' marked topics in the technical specification herein have to be specified before an order can be accepted.
2. The machine is build according to the actual CE directive.
3. Delivery of the SpiralVeyor is including instructions according to the actual CE directive.
For reasons of environmental protection, these instructions will be delivered as one copy in Dutch (original) and one copy as a translation into one of the official languages of an EU member state only. These manuals will also be delivered on one CD only.
Should additional copies and/or other languages be required, we can send you an offer on request.
4. Start/stop control by use of a frequency converter is obliged in case of:
 - Total conveying length over 30 meters
 - conveying speed (50Hz) over 24 m/min
 - Maximum total load over 250 kg
 - When over 1 start/stop per hour
 - In those cases acceleration and deceleration must be set to at least 1.5 seconds.
5. Frequency converter and/or other controls are excluded unless stated otherwise in the specification.
6. The SpiralVeyor® will be delivered unpacked. If the total height exceeds 2500mm it will be delivered, suspended horizontally in a steel support frame on both sides of the central column.
7. The Spiralveyor® is delivered completely assembled and tested. However, for transport the drive package is removed prior to shipping, because of possible extra stress on drive shaft. System integration on site requires:
 - horizontally positioning the Spiralveyor® near to the installation location
 - installing the drive package
 - proper rigging for lifting the Spiralveyor® to an upright vertical position
 - electrical wiring (by others) for power connection to the junction box on the e-motor
 - fixation to floor or ceiling
 - eventual mounting of guarding and fixing the adjoining feeder and take away conveyors for proper transfer elevations
8. As an option (#736), the AmbaFlex Spiralveyor® can be equipped with chain overlength detection sensors, installed at the drive and idler shaft. These sensors are not necessary for the functional operation of the SpiralVeyor®, when visual/manual maintenance is executed. Each sensor is cabled and joint in a connection box near the support cross. These sensors can be connected to your control system to generate an automatic maintenance alert signal. When these sensors are not connected properly a claim for warranty caused by broken chain or chain overlength will be rejected. A complete installation and controls description can be found in the manual or is available on request.
9. When installed in a working environment it is recommended to guard an area of at least 800 mm around the transfer between in feed / discharge of the SpiralVeyor® and the connecting conveyors.
10. If not specified otherwise the products must be transported in the middle of the SpiralVeyor's belt
11. Due to the technical design of the conveyor belt, in combination with higher speeds, products could be twisted on the belt during transport resulting in non-aligned products at the out feed of the SpiralVeyor. Although this is very limited, please inform AmbaFlex if this is not accepted when requiring an offer. In this case we can do test with your product to determine the angle of twist and a possible solution
12. For integration purposes, be sure to control all conveyors so that product can not flow back into the Spiralveyor® under any circumstances.
13. The Spiralveyor is not suited to operate in abrasive environments such as sugar dust, glass, etc..
14. Operating conditions are best when located indoors at ambient temperature ranging from freezing temperature up to 50°C.
15. Guarantee regarding product orientation and positioning can only be given after a performance test conducted by AmbaFlex.
16. With the SpiralVeyor® will be supplied:
 - Start up kit
 - Instructions
 - CE-Ila certificate



Signed for JPM Automação e Equipamentos Industriais S.A.

:

By (name) : _____

Date : _____

Installing the Chain over length detection

A correct chain tension is important for the lifetime of the SpiralVeyor® and to prevent for errors. When the chain is not properly tensioned the following can occur:

- The chain runs off the sprocket
- The slats grab the return channel and will become loose from the chain
- Extreme wear on the chain and sprockets

Overlength is defined as the length of three or more chain links. Overlength is detected by measuring the rotational difference between the drive and the idler shaft.

On the drive shaft a disc is mounted with an opening equal to 3 chain links which is detected by sensor 1. On the idler shaft a bolt in the shaft will be detected by sensor 2. The sensors are both optimally set at 2 mm from the initiators.

Each sensor is cabled and joint in a connection box near the support cross. Each cable consists of three wires (black/brown/blue). The black wire is the switch wire on which the signal comes in, the blue wire is the zero and the brown wire should be connected to 24-30+ VDC.

The signals must be compared which can result in three situations:

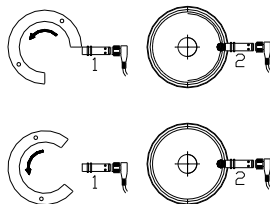
1. No chain over length
2. Chain over length
3. Broken chain



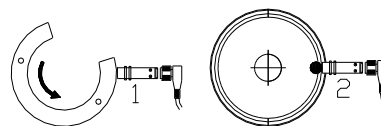
The signal can only be compared after 10 signal from the sensor on the drive shaft.

Please program the controls according to the below schematics and perform the appropriate action:

Maintenance situation	Sensor 1 (drive shaft)	Sensor 2 (idler shaft)	Action
No chain over length	Broken contact (no signal)	Made contact (signal)	No maintenance
Chain over length	Made contact (signal)	Made contact (signal)	Tension the chain at the first maintenance opportunity.
Broken chain	2 Separate made contacts	Continuous made contact (signal)	The machine has to be stopped immediately.
Broken chain	2 Separate made contacts	Continuous broken contact (no signal)	The machine has to be stopped immediately.



No chain over length



Chain over length

Signed for JPM Automação e Equipamentos Industriais S.A.

:

By (name) : _____

Date : _____

ANEXO B:

Folha de Parâmetros Comparativa Entre os Acionamentos Estudados

Proposta

Proposta Nº: 5530 **412477485**

Data: 16.01.2017

Página 2 / 4

Pos	Qtd.	Descrição	Prç. Líq. EUR	Prç. Total EUR
01	1 UN	Moto-redutor parafuso sem fim SA57 DRN90S4/BE2	Líq. 643.95	643.95
    				
Dados técnicos				
Velocidade [r/min]	: 1455 / 45	Corrente nominal [A]	: 4.45 / 2.55	
Redução total [I]	: 32.48 / finita	Cos Phi	: 0.73	
Nº dentes nom/denominador	: 812/25	Esquema de ligações	: R13 / 680010306	
Torque de saída máximo [Nm]	: 245	Classe temp.(°C)/Proteção (IP)	: 155(F) / 55	
Binário de saída [Nm]	: 200	Classe eficiência internaciona	: IE3	
Fator de serviço SEW-FB	: 1.25	Rendimento		
Posição de montagem	: M4B	a 50/75/100% Pn [%]	: 83.5 / 85.0 / 84.5	
Pos. da caixa de terminais	: 0 (D) / normal	Símbolo CE	: Sim	
Lubrificante	: CLP HC-460-NSF-H1 Óleo alimentar / 1.50	Freio	: BE2	
Cor	: RAL 7031 Cinza azul	Tensão freio [V]/-binário [Nm]	: 230 AC / 14	
Veio oco	: 35mm	Rectificador do freio	: BG1.5	
Meio de execução	: Veio oco	Esquema ligação do freio	: B100 / 690010006	
Documentação n.º	: 21932816	Caixa de terminais	: Caixa de ligação em alumínio com furos roscados 2xM25, 1xM16	
Lista de peças	: 282551596	Documentação n.º	: 21927219	
Potência motor [kW]	: 1.1	Chapa de características	: Português	
Frequência motor [Hz]	: 50	Posição chapa características	: 270°	
Fator de duração do ciclo	: S1	Instruç. operação Idioma A/Qtd	: Português	
Tensão motor [V] / tipo conn.	: 230/400 triangulo/estrela	Código estatístico	: 85015220	
Peso líq. [KG]	: Aprox. 36/UN			36/Pos.

02 Alternativa à posição. 01

Favor notar que o valor deste item não está considerado no valor total da proposta.

1 UN	Líq. 691.25	691.25
Moto-redutor cónico KA39 DRN90S4/BE2		



Dados técnicos

Velocidade [r/min]	: 1455 / 47	Cos Phi	: 0.73
Redução total [I]	: 30.72 / finita	Esquema de ligações	: R13 / 680010306
Nº dentes nom/denominador	: 768/25	Classe temp.(°C)/Proteção (IP)	: 155(F) / 55
Torque de saída máximo [Nm]	: 300	Classe eficiência internaciona	: IE3
Binário de saída [Nm]	: 220	Rendimento	

SEDE SOCIAL E FÁBRICA

Av. da Fonte Nova n.º 86
3050-379 Mealhada

Tel.: +351 231 209 670
Fax: +351 231 203 685
www.sew-eurodrive.pt
info@sew-eurodrive.pt

Serviço de Emergência

24/24 Horas
Tel.: +351 935 987 130

Cont. No.: PT 502452226
C.R.C. Mealhada No.: 172901115
Cap.Soc. 900 000 EUR
PT002269

DELEGAÇÃO LISBOA

Núcleo Empresarial I
de S. Julião do Tojal
Rua de Entremuros, 54 Fração I
2660-533 São Julião do Tojal
Tel.: +351 219 580 198
Fax: +351 219 580 245
esc.lisboa@sew-eurodrive.pt

DELEGAÇÃO PORTO

Rua Monte da Bela, N.º 191,
Fração X
4445-294 Ermesinde

Tel.: +351 229 350 383
Fax: +351 229 350 384
esc.porto@sew-eurodrive.pt



Proposta

Proposta Nº: 5530 **412477485**

Data: 16.01.2017

Página 3 / 4

Pos	Qtd.	Descrição	Prç. Lít. EUR	Prç. Total EUR
Fator de serviço SEW-FB	: 1.35	a 50/75/100% Pn [%]	: 83.5 / 85.0 / 84.5	
Posição de montagem	: M4B	Símbolo CE	: Sim	
Pos. da caixa de terminais	: 0 (D) / normal	Freio	: BE2	
Lubrificante	: CLP PG-460-NSF-H1 Óleo alimentar / 1.90	Tensão freio [V]/-binário [Nm]	: 230 AC / 14	
Cor	: RAL 7031 Cinza azul	Rectificador do freio	: BG1.5	
		Esquema ligação do freio	: B100 / 690010006	
Veio oco	: 35mm	Caixa de terminais	: Caixa de ligação em alumínio com furos roscados 2xM25, 1xM16	
Meio de execução	: Veio oco			
Documentação n.º	: 21932816	Documentação n.º	: 21927219	
Potência motor [kW]	: 1.1	Chapa de características	: Português	
Frequência motor [Hz]	: 50	Posição chapa características	: 270°	
Fator de duração do ciclo	: S1	Instruç. operação Idioma A/Qtd	: Português	
Tensão motor [V] / tipo conn.	: 230/400 triângulo/estrela	Código estatístico	: 85015220	
Corrente nominal [A]	: 4.45 / 2.55			
Peso lít.	[KG]	: Aprox. 40/UN 40/Pos.		

Peso lít total aprox. 36 KG

Total sem IVA

643.95

Valor Líquido Total s/IVA

EUR

643.95

Necessita de informações adicionais relativamente à sua oferta?

Após a ativação inicial, a síntese das operações fornece-lhe uma visão geral compacta das suas ofertas atuais: https://www.sew-eurodrive.pt/os/c/main.do?viewset=OVERVIEW&type=quotation&country=PT&language=PT_PT
 Aqui, recebe também dados CAD, documentações ou dados técnicos relativamente aos produtos oferecidos.

Ligação para folha de atravancamentos

Posição 01

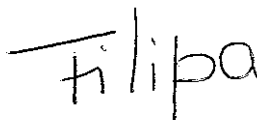
- <https://www.drivegate.biz/docu/mb/55e037e3-fca7-4e3c-9e76-78261e450ae9>
- <https://www.drivegate.biz/docu/mb/f790bd26-2ec0-4a85-af7d-295ec7097dcb>

Posição 02

- <https://www.drivegate.biz/docu/mb/36511661-17c5-40e9-b713-3531a063183a>
- <https://www.drivegate.biz/docu/mb/e77ba29c-ca96-4dad-bcae-452e829bad36>

Permanecendo ao V. inteiro dispor para quaisquer esclarecimentos adicionais e na expectativa de V. notícias.

Com os Melhores Cumprimentos,



SEW-EURODRIVE PORTUGAL

SEDE SOCIAL E FÁBRICA

Av. da Fonte Nova n.º 86
3050-379 Mealhada

Tel.: +351 231 209 670
Fax: +351 231 203 685
www.sew-eurodrive.pt
info@sew-eurodrive.pt

SERVIÇO DE EMERGÊNCIA

24/24 Horas
Tel.: +351 935 987 130

Cont. No.: PT 502452226
C.R.C. Mealhada No.: 172901115
Cap.Soc. 900 000 EUR
PT002269

DELEGAÇÃO LISBOA

Núcleo Empresarial I
de S. Julião do Tojal
Rua de Entremuros, 54 Fração I
2660-533 São Julião do Tojal
Tel.: +351 219 580 198
Fax: +351 219 580 245
esc.lisboa@sew-eurodrive.pt

DELEGAÇÃO PORTO

Rua Monte da Bela, N.º 191,
Fração X
4445-294 Ermesinde

Tel.: +351 229 350 383
Fax: +351 229 350 384
esc.porto@sew-eurodrive.pt

