FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Automatização de linha de fabrico de isolantes de estatores

Joana Filipa Machado da Costa



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Especialização de Automação

Orientador: Prof. Francisco Jorge Teixeira de Freitas

Setembro de 2020

Automatização de linha de fabrico de isolantes de estatores

Joana Filipa Machado da Costa

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Especialização de Automação

Setembro de 2020

Resumo

O presente relatório de dissertação foca-se na automatização da linha de fabrico de isolantes de estatores de motores elétricos da empresa *WEG EURO*. Na fábrica de Santo Tirso da empresa, para as quais o projeto foi realizado, produzem motores de indução de baixa tensão, por encomenda, tendo estes motores dimensões variáveis.

Entre as ranhuras das chapas laminadas, que formam os corpos dos estatores, e as bobinas, são colocados isolantes laminados. Esses isolantes denominam-se de isolantes "fundo de ranhura" e é na produção destes que a dissertação se foca. Estes isolantes devem ser obtidos com a largura e comprimento conforme as dimensões do motor elétrico a produzir e têm de ter nas suas extremidades vincos que permitem a sua fixação no estator.

O processo atual de obtenção de tais isolantes é realizado manualmente por dois operários. Este foi estudado e analisado, de modo a reconhecer os requisitos que uma solução automática deve cumprir. Inicialmente, foi apresentada uma solução de princípio com as funções que a máquina deveria apresentar. Tal solução foi dividida em duas partes, a "secção de armazenamento" e a "secção de corte".

A primeira secção destina-se ao armazenamento dos rolos dos vários tipos de material isolante e é a partir desta secção que a seguinte é alimentada. Na secção de corte transforma-se o material isolante em tiras para a sua posterior colocação nos estatores.

Com a identificação dos requisitos e uma solução de princípio obtida, foi desenvolvida a solução construtiva em conjunto com a solução de comando. A solução construtiva conta com a aplicação de acionamentos pneumáticos e eletromecânicos, que têm o seu funcionamento descrito ao longo do documento.

Após a apresentação da solução encontrada foi realizada uma análise temporal, na qual foram estimados os tempos necessários para a realização das diferentes tarefas, mostrando ainda estimativas para diferentes ciclos de trabalho. Com esta análise e exposição do funcionamento, foi possível averiguar a viabilidade da solução proposta.

Concluiu-se que os objetivos do projeto tinham sido alcançados. Tendo sido desenvolvida uma solução que permite aumentar a produção da linha de fabrico de isolantes fundo de ranhura, conseguindo-se uma diminuição da mão de obra necessária e uma melhoria nas condições de trabalho. Neste relatório são expostas as fases de desenvolvimento do projeto da máquina que permite automatizar a linha de fabrico de isolantes para estatores das instalações de Santo Tirso da *WEG EURO*.

Abstract

This dissertation report focuses on the automation of the *WEG EURO* electrical motor stator insulator manufacturing line. The company's Santo Tirso facilities, for which the project was carried out, produces low voltage induction motors on demand, with these motors having variable dimensions.

Laminated insulators are placed between the slots of the laminated plates that form the stators and the coils. These insulators are called "slot bottom films" and it is in the production of these that the dissertation project focuses. These insulators must be obtained with the width and length according to the dimensions of the electric motor to be produced and they must have in their ends folds that allow their fixation in the stator.

The current process of obtaining such insulators is performed manually by two workers. This process has been studied and analyzed to recognize the requirements that the automatic solution must meet. Initially, a solution of principle was presented with the functions that the system should have. This solution was divided into two parts, "the storage section" and "the cutting section".

The first section is for storing the rolls of the various types of insulating material and it is from this section that the next one is fed. It is in the cutting section that the insulating material is transformed into strips for subsequent placement in the stators.

With the identification of the requirements and a preliminary solution obtained, the constructive solution was developed together with the control solution. The constructive solution relies on the application of pneumatic and electromechanical drives which have their operation described throughout the document.

After the presentation of the solution, a time based analysis was carried out, where the necessary times for the accomplishment of the different tasks were estimated, showing also estimates for different work cycles. With this analysis and the explanation of the machine operation, it was possible to verify the utility of the proposed solution.

It was concluded that the project objectives had been achieved. Having developed a solution that allows increasing the production of the slot bottom film production line, achieving a decrease in the necessary labour and an improvement in working conditions. In this report, the development phases of the machine project are exposed, which will allow the automation of the insulator manufacturing line for stators at the Santo Tirso facilities of *WEG EURO*.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, professor Francisco Freitas, por tudo aquilo que me ensinou e pela disponibilidade e apoio ao longo de todo o projeto.

Pela possibilidade do desenvolvimento deste projeto, agradeço à *WEG EURO*, pela disponibilidade para qualquer esclarecimento.

Aos meus colegas de laboratório e ao Sr. Joaquim, quero agradecer, pela constante boa disposição e brincadeiras que tornaram os dias de trabalho mais animados. Em especial, à Ana Salgueirinho, pela ajuda incondicional e conselhos essenciais.

Quero agradecer a todos os meus amigos, pelo apoio e presença ao longo deste percurso. Ao meu namorado, Francisco, pela disponibilidade para ajudar, criticar e motivar e pela presença em todas as horas.

Por fim, quero deixar um enorme obrigada à minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou incondicionalmente.

Muito obrigada.

Joana Costa

Conteúdo

1 Introdução **1**

1.1 Contextualização 1

1.2 Apresentação WEG S.A. e WEG EURO 2

1.3 Objetivos da dissertação 3

1.4 Estrutura da dissertação 4

1.5 Motivações 4

2 Problema proposto **7**

2.1 Motores elétricos de baixa tensão 7

2.2 Apresentação do processo atual 9

2.2.1 Descrição do processo de produção 9

2.2.2 Análise do processo de produção 15

2.3 Requisitos do projeto 16

2.4 Conclusões 18

3 Solução de princípio **19**

3.1 Análise dos requisitos 19

3.1.1 Secção de armazenamento 20

3.1.2 Secção de corte 21

3.2 Apresentação da solução de princípio 21

3.2.1 Secção de armazenamento 23

3.2.2 Secção de corte 26

3.3 Conclusões 36

4 Solução construtiva **37**

4.1 Solução global 37

4.2 Secção de armazenamento 39

4.2.1 Sistema de movimentação 40
4.2.2 Estrutura de base 44
4.2.3 Alinhador lateral 46
4.3 Secção de corte 49
4.3.1 Transporte do material 50
4.3.2 Corte em tiras 56
4.3.3 Realização dos vincos 66
4.3.4 Suporte estrutural 69
4.4 Conclusões 73

5 Solução de comando **75**
5.1 Caracterização dos movimentos 75
5.1.1 Secção de armazenamento 76
5.1.2 Secção de corte 80
5.2 Sequência de fabrico 92
5.3 Avaliação temporal 95
5.4 Conclusões 99

6 Conclusões e trabalhos futuros **101**
6.1 Conclusões 101
6.2 Trabalhos Futuros 102

Referências **103**

A Esquemas pneumáticos **105**
A.1 Secção de armazenamento 106
A.2 Secção de corte 107

B *Grafcet* comportamentais **111**

Lista de Figuras

1.1 Instalações da *WEG EURO*, na Maia [5] 2
1.2 Instalações da *WEG EURO*, em Santo Tirso [6] 3

2.1 Motor elétrico de indução [7] 8
2.2 Materiais de isolamento em motor elétrico de indução [7] 9
2.3 Armazenamento atual dos rolos de material isolante 11
2.4 Principais movimentos no corte de tiras de classe de isolamento H 13
2.5 Principais movimentos no corte de tiras de classe de isolamento F 14
2.6 Exemplo de estator com isolantes fundo de ranhura colocados 14
2.7 Limites dimensionais para as tiras de isolante 17
(a) Dimensões máximas 17
(b) Dimensões mínimas 17

3.1 Estrutura de armazenamento conforme número de rolos 24
3.2 Suporte para tubo e corrente transportadora com pino 25
3.3 Armazém de rolos 25
(a) Vista lateral 25
(b) Vista frontal 25
3.4 Esquema da secção de corte 27
3.5 Desenho do rolo de arrasto e atuadores de elevação 28
3.6 Movimentos da pinça 29
3.7 Movimentos da solução de princípio para corte em tiras 30
3.8 Diferentes disposições da guia de corte longitudinal 31
(a) Corte de 9 tiras 31
(b) Corte de 18 tiras 31
3.9 Posições da guia de corte longitudinal 32
3.10 Desenho da guia responsável pelo corte de comprimento de tira 33

3.11 Realização dos vincos 34
3.12 Realização dos vincos e transporte do material 35
3.13 Desenho da estrutura que suporta os restantes componentes 36

4.1 Desenho da solução construtiva geral 39
4.2 Desenho do armazém automático 40
4.3 Localização do motorredutor 41
4.4 Rodas dentadas de apoio 42
4.5 Exemplo de corrente [8] e roda dentada [9] 43
4.6 Posicionamento do material isolante nas correntes 43
4.7 Sistema tensionador de correntes 44
4.8 Desenho da estrutura de base do armazém automático 45
4.9 Delimitações para alimentação do armazém automático e do processo de corte . . 45
4.10 Altura a que fica localizado o rolo para alimentar processo de corte 46
4.11 Alinhador lateral de rolos de isolante 47
4.12 Movimento do alinhador lateral de rolos de isolante 48
4.13 Modelação da secção de corte 49
4.14 Identificação dos principais componentes da secção de corte 50
4.15 Modelação do rolo de arrasto 50
4.16 Motor do rolo de arrasto 51
4.17 Modelação da pinça 53
4.18 Representação da garra da pinça nas suas posições de aberta e fechada 53
4.19 Vista de baixo da pinça 54
4.20 Colocação dos servomotores nas guias da pinça 56
4.21 Exemplo de carruagem e guia a usar para corte longitudinal [10] 57
4.22 Carruagem porta lâminas 58
4.23 Identificação dos componentes na guia de corte longitudinal 59
4.24 Guia de corte longitudinal em posição de corte 60
4.25 Duas posições da guia de corte longitudinal montada na estrutura 61
4.26 Modelação do posicionador de arrasto das carruagens 61
4.27 Motor passo a passo de acionamento do posicionador de arrasto das carruagens . 62
4.28 Atuador pneumático do posicionador de carruagens 63
4.29 Modelação da guia de corte transversal 64
4.30 Identificação de alguns dos componentes da guia de corte transversal 65

4.31 Modelação dos calcadores 66
4.32 Representação da guia dos calcadores 67
4.33 Barra extra dos calcadores 67
4.34 Modelação dos cunhos 68
4.35 Barra dos cunhos 69
4.36 Suporte estrutural completo 70
4.37 Rampa de deslize do material 71
4.38 Suporte para atuadores pneumáticos do sistema de alavanca do corte longitudinal 71
4.39 Localização do suporte para pinça e rampa de recolha das tiras 72
4.40 Representação da rampa e recipiente de recolha 72
4.41 Vista em corte da estrutura com a identificação de alguns elementos 73

5.1 Janela de inserção de rolos no armazém automático 77
5.2 Localização dos detetores para posicionamento de rolo 78
5.3 Movimentos de alinhamento do rolo de material isolante 78
5.4 Esquema pneumático do movimento de alinhamento lateral de rolos de isolante . 79
5.5 Esquema pneumático do movimento de elevação do rolo de arrasto 80
5.6 Colocação dos detetores no início da secção de corte 81
5.7 Movimento de elevação da pinça 82
5.8 Esquema pneumático do movimento de translação vertical da pinça 83
5.9 Movimento da garra da pinça 83
5.10 Esquema pneumático do movimento de aperto da pinça 84
5.11 Esquema do sistema de controlo do transporte de material pela pinça 84
5.12 Esquema pneumático do movimento de alavanca da guia de corte longitudinal . . 86
5.13 Esquema pneumático do movimento de fixação de cada carruagem 87
5.14 Movimentos do posicionador 88
5.15 Movimentos do posicionador vistos de cima 88
5.16 Esquema pneumático do movimento de acoplamento entre o carro do eixo posicionador e as carruagens porta lâminas 89
5.17 Esquema pneumático do movimento de translação do disco de corte 90
5.18 Movimentos de realização dos vincos 91
(a) Etapa 1 91
(b) Etapa 2 91
(c) Etapa 3 91

5.19 Esquema pneumático do movimento dos calcadores 91
5.20 Esquema pneumático do movimento dos cunhos 92

B.1 *Grafcet* principal 112
B.2 *Macrografcet* M0 de preparação do material isolante 113
B.3 *Macrografcet* M1 de posicionamento do rolo de material isolante 114
B.4 *Macrografcet* M2 de posicionamento das carruagens porta lâminas 114
B.5 *Macrografcet* M3 do 1º corte do material 115
B.6 *Macrografcet* M4 de início do corte longitudinal 116
B.7 *Macrografcet* M5 do corte de material em tiras 117

Lista de Tabelas

2.1 Espessura do isolante por classe de isolamento 9

3.1 Principais componentes e respetivas funções de cada secção 22
3.2 Movimentos e funções dos componentes responsáveis pelo transporte de material 30
3.3 Movimentos e funções dos componentes responsáveis pelo corte das tiras 33
3.4 Movimentos e funções dos componentes responsáveis pela realização dos vincos 35

4.1 Componentes e respetivas funções da secção de armazenamento 40
4.2 Características do motorredutor responsável pelo acionamento do armazém . . . 41
4.3 Características do atuador pneumático do posicionador do armazém 47
4.4 Características de cada atuador pneumático do rolo de arrasto 51
4.5 Características do conjunto do motor e redutor usados no rolo de arrasto 52
4.6 Características de cada atuador pneumático para aperto da pinça 54
4.7 Características de cada atuador pneumático para elevação da pinça 55
4.8 Características de cada um dos eixos eletromecânicos da pinça 55
4.9 Características de cada atuador pneumático para fixação da carruagem 59
4.10 Características de cada atuador pneumático da alavanca da guia de corte longitudinal 60
4.11 Características do motor de acionamento da guia do posicionador de carruagens . 62
4.12 Características do atuador pneumático do posicionador de carruagens 63
4.13 Características do motor de acionamento do disco de corte 64
4.14 Características do atuador linear do corte transversal 65
4.15 Características de cada atuador pneumático dos calcadores 66
4.16 Características de cada atuador pneumático dos cunhos 69

5.1 Estados iniciais dos componentes 93
5.2 Estimativa da duração das tarefas para produção dos isolantes fundo de ranhura . 97
5.3 Estimativa de tempos de produção para 120 tiras de 1100 *mm* de comprimento . . 98

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

Nos dias de hoje há uma procura contínua pela evolução tecnológica. No que diz respeito à indústria, esta evolução tem como objetivos não só o aumento de produtividade e da procura de novos produtos inovadores, mas também o bem-estar dos colaboradores. Preza-se por ambientes mais harmoniosos e as tarefas monótonas necessitam ser realizadas por meios automáticos. De forma a alcançar tais condições, a automatização de certas tarefas é imprescindível.

A automatização da linha de fabrico de isolantes de estatores, proposta pela empresa *WEG EURO* e na qual se foca esta dissertação, nasce dessa procura constante pela inovação e pela melhoria de condições no local de trabalho. Não por ser um tema novo para um dos maiores fabricantes de motores elétricos a nível mundial, mas pela automatização de uma linha de fabrico para motores produzidos por encomenda.

A necessidade de automatizar a produção dos isolantes fundo de ranhura deve-se ao crescimento da empresa e da produção da fábrica de Santo Tirso. Pois, mesmo produzindo motores sobre encomenda, pode definir limites dentro dos quais as dimensões dos isolantes estão compreendidas, assim como uniformizar os vincos destes. Desta forma, e com o aumento de procura por estes motores, a automatização desta tarefa torna-se cada vez mais interessante.

De seguida é apresentada a empresa *WEG EURO* e são neste capítulo delineados os objetivos da dissertação, assim como a sua estrutura e as motivações que levaram à escolha do tema de dissertação.

1.2 Apresentação WEG S.A. e WEG EURO

Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus fundaram no dia 16 de setembro de 1961 a Eletromotores Jaraguá do Sul, produzindo inicialmente apenas motores elétricos. Após algum tempo a empresa começou a chamar-se *WEG*, nome que deriva das iniciais dos seus três fundadores, nome esse que é conhecido internacionalmente como um dos maiores fabricantes de componentes elétricos. [1]

A empresa WEG S.A. foi-se consolidando, não só como produtora de motores elétricos, mas também como fornecedora de sistemas elétricos industriais completos.

Tendo filiais em 36 países e fábricas em 12 países, esta empresa sediada no Brasil conta com mais de 31000 colaboradores e produz mais de 16 milhões de motores anualmente.[2] Em Portugal, a *WEG* tem duas fábricas, tendo iniciado a sua atividade com instalações na Maia em 2002, como resultado da aquisição da *Efacec Universal Motors*, e sendo a mais recente a instalação em Santo Tirso, em fábrica de construção nova.

Nos dias de hoje, as instalações na Maia asseguram a produção de motores elétricos de média e alta tensão, com destaque nas soluções à prova de explosão, com potências até 9 MW e tensões até 11 000 V. Por outro lado, as instalações de Santo Tirso focam-se na produção de motores de baixa tensão, sendo estes para aplicações normais ou especiais. Produz ainda quadros elétricos até 2 MW e conta com um armazém de produtos. [3]

A mais recente fábrica da empresa em Portugal conta com linhas de produção como, maquinagem, fabrico de rotores, bobinagem, montagem final, embalamento e ainda com áreas de teste. Esta nova fábrica veio permitir melhorar os prazos de entrega da *WEG* e ainda aumentar a produção da fábrica da Maia. [4]

As duas instalações, em conjunto, empregam mais de 600 trabalhadores e cobrem uma área de 62 954 m^2 (19 590 m^2 na Maia e 43 364 m^2 em Santo Tirso). [3]



Figura 1.1: Instalações da *WEG EURO*, na Maia [5]



Figura 1.2: Instalações da *WEG EURO*, em Santo Tirso [6]

1.3 Objetivos da dissertação

Na produção de motores elétricos são necessários isolantes que ficam colocados entre as bobinas e as chapas laminadas que constituem o estator. Estas placas de isolamento, em específico, têm a designação de "fundo de ranhura", pois colocam-se no fundo de cada ranhura definida nas chapas laminadas, de modo a constituírem a base de assentamento das bobinas do estator. É fundamental obter estes isolantes em tiras com as dimensões pretendidas, dimensões essas que são dependentes da dimensão de cada motor. Uma vez que a produção dos motores de baixa tensão da *WEG EURO* não é feita em série, mas sim por encomenda, as tiras devem ser cortadas com as dimensões desejadas conforme cada caso. Para além das tiras apresentarem as dimensões corretas, carecem ainda de vincos nas suas extremidades, de 5 mm de largura, que funcionam como batentes nas faces exteriores dos estatores, para a sua própria fixação nas ranhuras.

Sendo o principal objetivo a automatização a obtenção dos isolantes fundo de ranhura, é de evidenciar a necessidade de um mecanismo flexível que permita realizar três funções distintas:

- a alimentação e seleção dos rolos de material isolante, conforme o material a aplicar em cada motor,
- o corte desse mesmo material, em tiras, e
- a realização de vincos, em ambas as extremidades das tiras de material isolante.

O objetivo económico do projeto de um novo equipamento produtivo é, idealmente, a obtenção de um aumento de produtividade na secção específica que se destina à preparação dos isolantes fundo de ranhura, fazendo assim, com que possa haver um acréscimo da produção no total.

No entanto, não só as questões de produtividade são relevantes, sendo que as questões relacionadas com a segurança e ergonomia são temas que cada vez mais ganham destaque no meio

industrial e, por essa razão, há que assegurar melhores condições de trabalho. Estas podem ser conseguidas através de um mecanismo que permita também a redução do ruído e a otimização dos recursos.

1.4 Estrutura da dissertação

No Capítulo 1 é feita uma introdução à dissertação, fazendo-se uma contextualização do tema, apresentando a empresa que propôs o projeto, a *WEG EURO*, e ainda definindo os principais objetivos deste trabalho.

No Capítulo 2 é feita a exposição do problema proposto, mostrando o processo atual para a obtenção dos isolantes. Para melhor compreensão deste são apresentados alguns conceitos considerados relevantes no que diz respeito aos motores de baixa tensão. Após a demonstração do problema colocado pela *WEG EURO*, são apresentados os requisitos propostos pela empresa.

O terceiro e quarto capítulos são complementares, expondo a solução de princípio e a solução construtiva proposta, respetivamente. No Capítulo 3 são analisados os requisitos da máquina a desenvolver e posteriormente é apresentada uma solução conceptual que serve de base para a solução construtiva que é, mais tarde, apresentada com detalhe no Capítulo 4. Esta secção da dissertação mostra a passagem da solução de princípio para o que é a solução de construção, apresentando em detalhe os vários componentes do projeto desenhado no *software* de CAD 3D, *SOLIDWORKS*. Com o suporte visual retirado do *software* são expostos todos os movimentos e acionamentos que constituem a máquina.

No que diz respeito ao Capítulo 5, este retrata a automação presente no projeto, descrevendo as soluções de comando e controlo da máquina. Para tal, são apresentados os esquemas pneumáticos e os *grafcets* comportamentais. Ainda nesta secção é realizada uma análise temporal para cada uma das tarefas que a máquina deve realizar, tratando-se de um estudo para ser possível a comparação entre o processo atual e a nova máquina a ser projetada.

O último capítulo apresenta as conclusões retiradas após a realização do projeto. Assim como os potenciais trabalhos futuros, sendo que nestes são indicados pontos que podem ser melhorados, bem como passos que podem ser seguidos para obter um projeto completo da máquina.

1.5 Motivações

O tema sobre o qual recai a presente dissertação foi escolhido pelo desafio que o desenvolvimento de uma máquina representa.

A oportunidade de projetar uma solução de raiz, para um problema real, de uma das maiores produtoras de motores elétricos a nível mundial, foi um dos aspetos que mais chamou à atenção para este tema. Assim como a possibilidade de aprendizagem e aquisição de conhecimentos na área conjunta de projeto e de automatização de máquinas.

Conhecer os passos necessários para a criatividade associada a uma fase inicial do projeto de máquinas e ter de chegar a uma solução plausível para um problema é bastante atrativo.

A expectativa de chegar ao final com uma solução viável para a *WEG EURO* e que pudesse vir a ser posteriormente construída, foi um dos fatores que influenciou a escolha do tema de dissertação.

Capítulo 2

Problema proposto

O presente capítulo tem como objetivo principal expor o problema proposto pela *WEG EURO*.

De modo a facilitar a compreensão dos termos usados e da necessidade do projeto, é inicialmente feita uma apresentação dos motores de indução de baixa tensão, nos quais se foca a produção da fábrica de Santo Tirso.

Ainda nesta secção, é apresentado, com base em informação fornecida pela *WEG EURO*, o atual processo para o fabrico de tiras de isolante "fundo de ranhura" para estatores. Após esta apresentação são enumerados os requisitos que uma máquina que cumpra os objetivos delineados deve cumprir.

2.1 Motores elétricos de baixa tensão

Os motores elétricos ocupam um lugar particularmente importante como meios de acionamento eletromecânico para a indústria atual. Dentro destes, os motores de indução são os que mais se destacam pela sua construção simples e pela grande versatilidade no que diz respeito às cargas de diferentes tipos. [7]

Os motores de indução trifásicos são constituídos essencialmente por duas partes: o estator e o rotor. O primeiro constitui a parte fixa do motor e o segundo a parte rotativa. Apenas o estator é ligado à rede de alimentação. As correntes que circulam no rotor são induzidas electromagneticamente pelo estator. Na Figura 2.1 é apresentada a representação de um destes motores. [7]

A vida útil de um motor de indução é fortemente dependente da vida útil do isolamento empregue, sendo que a temperatura deve ser mantida sempre abaixo do limite da sua classe térmica. Os materiais isolantes apresentam grande importância para os motores de indução, uma vez que

são empregues com a função de impossibilitar fluxo de corrente de um condutor, seja para um potencial mais baixo ou para a terra. [7]

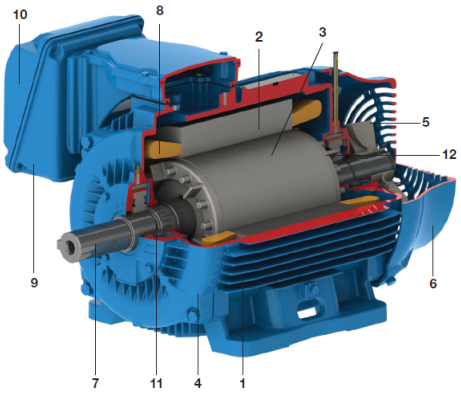


Figura 2.1: Motor elétrico de indução [7]

Os motores elétricos são dotados de um sistema de isolamento que consiste em vários materiais que, estando em contacto com a bobina, impedem um fluxo de corrente indesejado. Alguns dos materiais isolantes são:

- vernizes, para isolamento entre fios;
- resinas de impregnação;
- isolantes de fundo de ranhura;
- isolantes entre fases,

entre outro tipo de materiais. [7]

Os vernizes e resinas de impregnação mantêm unidos os fios esmaltados da bobina, impedindo que estes vibrem e que haja atrito entre eles. O atrito que seria causado sem a utilização destes, poderia causar falhas no esmalte do fio, levando a um curto circuito. Os fios são esmaltados de modo a garantir um bom isolamento mecânico, térmico e elétrico. [7]

Os isolantes laminados são responsáveis por isolar térmica e eletricamente o estator da bobina do motor e são constituídos à base de aramida e poliéster. Existem 3 diferentes isolantes laminados:

- isolantes fundo de ranhura, colocados entre as ranhuras do estator e os enrolamentos;
- isolantes entre fases, colocados nas testas de bobinagem, para isolamento entre as fases de alimentação;
- isolantes de fecho de ranhura, colocados na parte superior da ranhura do estator, para isolar eletricamente a bobina e manter os fios dentro das ranhuras. [7]

Na Figura 2.2 é possível visualizar alguns dos materiais que contribuem para o isolamento de um motor elétrico, entre o estator e as bobinas.

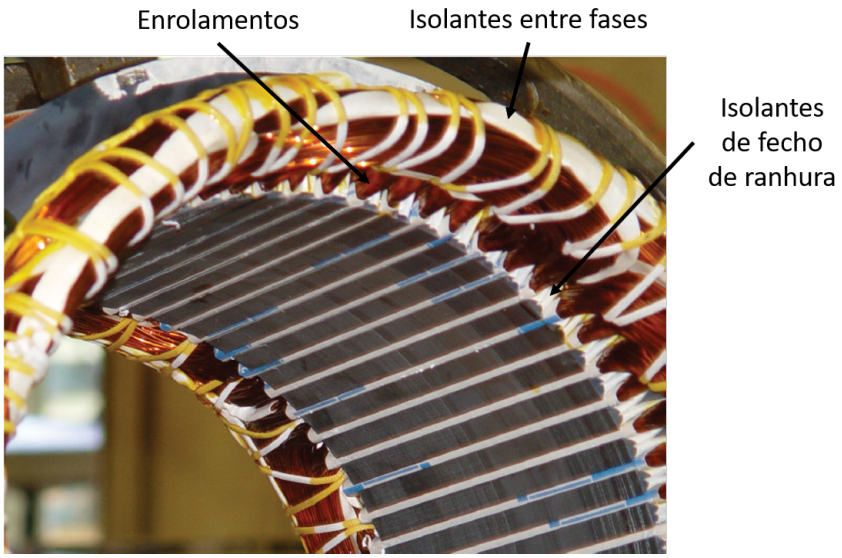


Figura 2.2: Materiais de isolamento em motor elétrico de indução [7]

2.2 Apresentação do processo atual

Nesta secção é descrito o processo de obtenção de isolantes "fundo de ranhura" que é utilizado na produção da fábrica de Santo Tirso da *WEG EURO*.

2.2.1 Descrição do processo de produção

O material isolante utilizado para a produção de isolantes fundo de ranhura pode ter diferentes espessuras, conforme a classe de isolamento do motor.

São consideradas, a classe H e a classe F.

Na Tabela 2.1 é apresentada a relação entre as espessuras e as classes de isolamento.

Tabela 2.1: Espessura do isolante por classe de isolamento

Espessura do Isolante	0,24	0,25	0,30	0,37	0,38
Classe de Isolamento	F	H	H	F	H

Relacionado com as classes de isolamento, existe também uma informação importante sobre as dimensões com que os rolos de isolante são fornecidos, que é alusiva à largura útil de cada um destes.

Quanto aos rolos de material com classe de isolamento **H**, estes são fornecidos sem necessidade de retirar material das suas extremidades, podendo assim ser aproveitada toda a largura destes, que tipicamente está compreendida entre 915 e 920 mm.

Já aos rolos de material com classe de isolamento **F** têm de ser retirados cerca de 10 mm de material em cada uma das faces das extremidades. Sendo estes habitualmente fornecidos com 920 a 930 mm de largura, passam assim a ter uma largura útil entre 900 e 910 mm.

Ainda no que concerne às dimensões dos rolos, estes podem ter um diâmetro exterior máximo de 300 mm e uma massa máxima de 56 kg.

No que diz respeito aos limites de dimensões que cada tira de isolante pode apresentar, estes estão relacionados com a gama de motores que a fábrica da *WEG* em Santo Tirso produz, atualmente. Assim sendo, a largura das tiras pode variar entre 30 e 300 mm e o comprimento entre 180 e 1100 mm, depois de feitos os vincos em ambas as extremidades, significando que o comprimento total antes do vinco varia entre 190 e 1110 mm.

A ordem de produção (**OP**) é o documento que fornece aos funcionários responsáveis pela produção das tiras as informações que estes necessitam para realizar tal tarefa. Esta chega até à estação de produção de isolantes impressa em papel. Cada OP inclui os seguintes valores:

- espessura do material;
- comprimento de tira;
- largura de tira;
- quantidade de tiras.

Esta informação é lida antes de se iniciar a produção de cada lote de tiras, sendo que este se refere às tiras necessárias para um motor a produzir, e que vão constituir um lote de tiras.

O processo da produção destes isolantes, conforme o procedimento atual, pode ser dividido em três fases, sendo estas:

- o armazenamento e alimentação do material isolante a partir de rolo;
- o corte do material em tiras, e
- a realização dos vincos nas extremidades.

No que diz respeito ao armazenamento e alimentação dos rolos de material isolante, estes são mantidos em tubos numa secção que precede os restantes procedimentos conforme mostrado na

Figura 2.3. Rolos de reserva são mantidos, na vertical, sobre uma palete situada junta aos restantes para, no caso de acabar um dos que está no local de alimentação, que este possa ser substituído manualmente para o mesmo local.

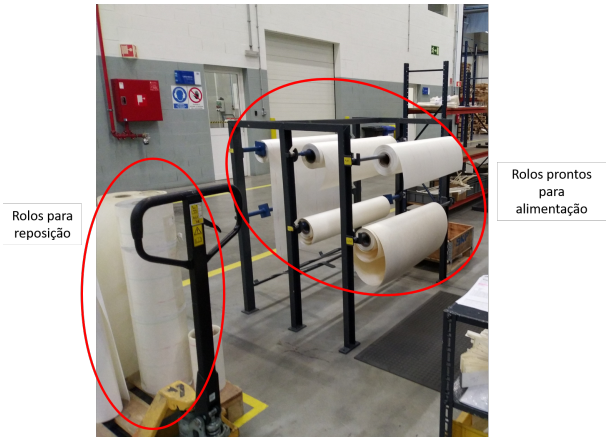


Figura 2.3: Armazenamento atual dos rolos de material isolante

A espessura do material é a propriedade que o identifica ao longo de todo o processo. O valor desta é lido na OP permitindo ao operador selecionar, a partir do local de armazenamento, o isolante a utilizar para um determinado lote.

O corte de isolantes fundo de ranhura é, atualmente, realizado por dois funcionários, usando uma guilhotina ativada por pedal pneumático. Este engenho deve ser afinado manualmente conforme cada uma das dimensões desejadas. Os esbarros existentes na máquina são de ajuste manual e a verificação do ajuste realizado alvo de um procedimento que acaba por ser moroso.

Também nesta fase do projeto a classe de isolamento do material faz variar o procedimento a seguir.

Se o material a utilizar for de classe de isolamento H, o primeiro corte deverá ser realizado conforme o valor da largura de tira a obter e, assim sendo, o esbarro da guilhotina deve ser ajustado conforme tal valor.

No caso de a classe de isolamento ser F, o primeiro corte deve ser feito de acordo com o comprimento de tira a obter, de modo que o esbarro da guilhotina deve ser regulado segundo essa dimensão.

Ao material obtido após o primeiro corte de material, seja este conforme a largura ou conforme o comprimento, dá-se o nome de folha.

O primeiro corte é feito ao longo da largura com que o rolo é fornecido, havendo a necessidade de definir o número de folhas que são necessárias cortar com essa primeira dimensão, para a concretização de um lote de tiras.

Para as tiras de materiais com classe de isolamento **H** o número de folhas é definido pela expressão apresentada na equação 2.1.

$$n^{\circ}\ de\ folhas = \frac{quantidade}{n^{\circ} de\ tiras\ por\ corte} \tag{2.1}$$

Sendo,

$$n^{\circ}\ de\ tiras\ por\ corte = \frac{largura\ rolo}{comprimento\ de\ tira} \tag{2.2}$$

Já quando se está a produzir tiras com material de classe de isolamento **F** o número de folhas é definido pela seguinte equação:

$$n^{\circ}\ de\ folhas = \frac{largura\ de\ tira\ \times\ quantidade}{largura\ rolo} \tag{2.3}$$

Estando o número de folhas a cortar determinado e a guilhotina ajustada com a primeira dimensão, é então cortada a quantidade de folhas definidas para a OP. Conforme a necessidade, o material vai sendo puxado manualmente pelos operadores. Também é por estes que o correto tensionamento do material é definido, podendo este fator implicar incertezas e diferenças nas tiras que estão a ser produzidas.

Após o corte e empilhamento do número de folhas necessárias para a ordem de produção o esbarro da guilhotina é novamente afinado e verificado manualmente de acordo com o valor do comprimento, no caso de o material ser de classe de isolamento H, ou de acordo com a dimensão da largura, no caso de ser de classe de isolamento F.

Com a guilhotina preparada para um novo corte, as folhas anteriormente empilhadas têm de ser rodadas de 90º e então passa-se a fazer o corte da segunda dimensão ao longo da largura de rolo que as folhas dispõem. Este passo é repetido até ser produzida a quantidade de tiras expressa na OP. É nesta etapa que o valor da largura do rolo é ajustado, no caso dos materiais com classe de isolamento F.

Atingindo este ponto, apenas resta fazer os vincos nas extremidades das tiras. Estes possuem uma margem de 5 mm e são realizados numa máquina própria para vincar este tipo de material. Esta é operada por um dos funcionários que realiza a tarefa do corte e é ativada também por pedal. É realizado o vinco de uma extremidade e, após ser rodada a tira, realiza-se o vinco da outra extremidade.

Após todas as tiras serem preparadas, estas são recolhidas e agrupadas de acordo com a OP, sendo identificadas com o respetivo número. São posteriormente colocadas na estante destinada

para este efeito. Todo o desperdício criado com a produção dos isolantes fundo de ranhura é reunido num recipiente adequado.

Resumindo, a preparação dos isolantes fundo de ranhura baseia-se nas seguintes etapas:

- leitura da ordem de produção e verificação da mesma;
- escolha do rolo de material isolante;
- ajuste da guilhotina conforme valor de largura (classe de isolamento H) ou conforme o comprimento (classe de isolamento F);
- determinação do número de folhas a cortar;
- corte do número de folhas anteriormente definido;
- ajuste da guilhotina conforme valor de comprimento (classe de isolamento H) ou conforme a largura (classe de isolamento F);
- rotação de 90º das folhas cortadas;
- corte das folhas ao longo da largura com que o rolo é fornecido, até perfazer a quantidade especificada na OP;
- vinco de ambas as extremidades das tiras;
- reunião das tiras de uma OP;
- colocação do lote de tiras, referente a uma ordem de produção, na estante para esse efeito destinada;
- reunião do desperdício de material.

De modo a exemplificar o processo de corte que foi explicado, seguem-se dois esquemas que mostram as principais fases do corte de tiras conforme a classe de isolamento. Na Figura 2.4 está representado o corte para os isolantes com classe H, já na Figura 2.5 é representado o corte para isolantes com classe F.

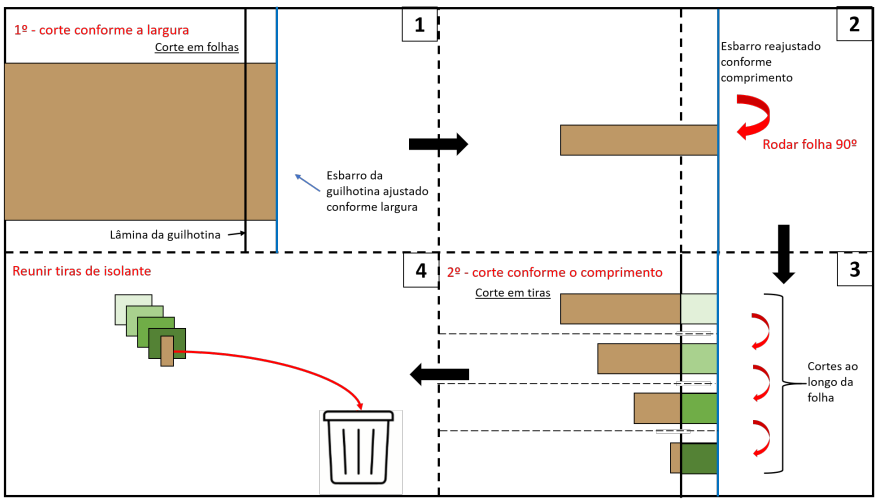


Figura 2.4: Principais movimentos no corte de tiras de classe de isolamento H

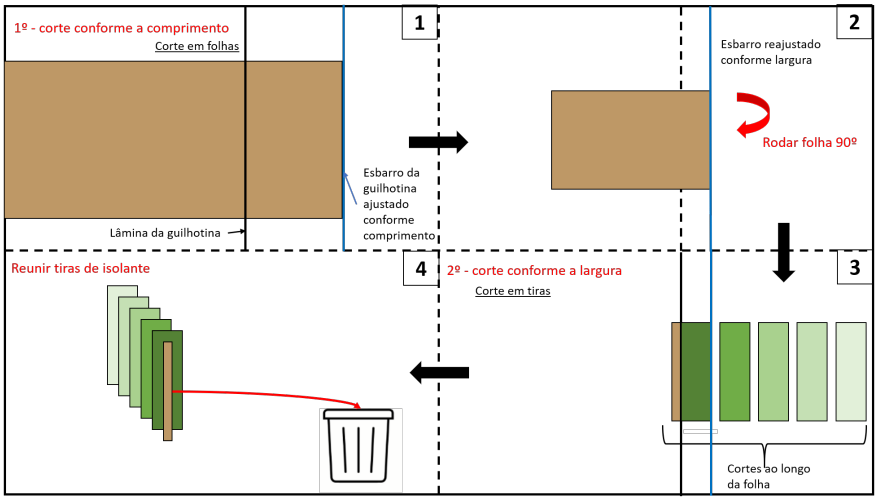


Figura 2.5: Principais movimentos no corte de tiras de classe de isolamento F

Na Figura 2.6, é possível observar os isolantes fundo de ranhura já colocados no estator. Apesar da tarefa da colocação não estar incluída no projeto a que se refere este texto, é importante perceber a sua utilização e localização.

Após as tiras estarem cortadas com as dimensões corretas e com os vincos nas suas extremidades realizados, estas são agrupadas e colocadas juntamente com a folha da OP, numa estante que se encontra ao lado da estação de preparação de isolantes.

Para serem colocadas no estator, as tiras são dobradas ao longo do seu comprimento, para serem inseridas nas ranhuras. Ao mesmo tempo os vincos são também dobrados, de modo a servir de batente, garantindo a posição longitudinal da tira na ranhura.



Figura 2.6: Exemplo de estator com isolantes fundo de ranhura colocados

2.2.2 Análise do processo de produção

Esta solução exige um elevado número de movimentos por parte de dois operadores.

Aquando do corte de tiras, a lâmina de corte da guilhotina, ao bater no seu batente de fim de curso mecânico, causa ruído. Uma vez que por cada lote de tiras a produzir o número de cortes é relativamente elevado, os constantes ruídos causados pelos movimentos da guilhotina são prejudiciais para o ambiente circundante.

Existe a necessidade de um constante ajuste do esbarro da guilhotina, que está certamente sujeito a erro humano e, consequentemente, à obtenção de tiras com as dimensões diferentes das pretendidas.

O processo acarreta um desperdício de material considerável e ainda um certo perigo, relacionado com a rapidez do corte e, ainda, com a aproximação dos operadores aquando do corte de tiras com dimensões mais pequenas. Para garantir que o material se mantém tensionado quando se cortam tiras de 30 mm de largura, é necessário agarrá-lo numa zona perto de onde é realizado o corte.

Atualmente, a produção média de motores na fábrica em Santo Tirso é de 43 motores por dia. Usando como valor médio de isolantes de fundo de ranhura para os motores 60 isolantes por motor resulta um valor médio de 2580 tiras que têm de ser cortadas e vincadas por dia. Estas são produzidas num só turno de laboração, embora os motores sejam produzidos em dois turnos. No máximo, cada estator pode necessitar de 120 isolantes fundo de ranhura. Caso todos os motores fossem de 120 isolantes, então a necessidade diária de tiras cresceria para 5160. É indispensável ter em consideração este valor uma vez que pode aumentar consideravelmente o número de tiras a produzir num só dia.

Alimentação e armazenamento do material isolante

No espaço atualmente usado para armazenamento de rolos de material isolante existe somente um rolo de cada tipo pronto para utilização. Isso implica que sempre que um rolo termine, é necessário interromper a produção para que, manualmente, seja substituído.

No que diz respeito à alimentação do material, uma das operadoras é responsável por puxá-lo conforme a necessidade deste para corte de novas folhas, o que implica que deve mantê-lo esticado para obter tiras com as dimensões desejadas e não deixar que este escape entre o corte de diferentes folhas.

Isto faz com que a tarefa tenha de ser feita com o devido cuidado.

Corte do Material

É nesta fase que a redução do desperdício é fundamental, sendo essencial fazer o maior aproveitamento possível do produto. Material perdido representa também gastos que podem, e devem, ser evitados.

Quanto aos valores das tolerâncias das dimensões das tiras dos isolantes fundo de ranhura, tem-se:

- no comprimento total, que se refere à parte reta mais os vincos, a tolerância é de + 2 mm
- na largura a tolerância é de $\pm$ 1 mm.

Vinco das extremidades

Esta tarefa tem de ser realizada de modo a que os vincos nas extremidades façam, com o restante material, 90^{o} ou mais, podendo este ângulo ir até 120^{o}. Quanto aos 5 mm que cada vinco deve apresentar, esta dimensão pode variar $\pm$ 1 mm. O que representa $\pm$ 2 mm no comprimento total de tira.

2.3 Requisitos do projeto

De modo a ser do interesse da fábrica de Santo Tirso da *WEG*, o projeto da máquina para a automatização da linha de fabrico de isolantes de estatores, tem de cumprir certos requisitos de forma a tornar-se vantajoso.

Alguns dos requisitos estão relacionados com o que está disponível nas instalações, seja o espaço ou as fontes energéticas. Quanto ao espaço, a máquina deverá ter dimensões tais que possa ser colocada numa área em planta de 12 m^2 (6 m de comprimento x 2 m de largura). Como fontes de energias está disponível uma rede de ar comprimido de 6 bar e uma rede de energia elétrica com 400 VAC e 800 A.

É requerido que a necessidade de interação humana seja sinalizada luminosa e sonoramente, de modo a facilitar a perceção da necessidade de atenção por parte de um operador.

Passando agora aos requisitos funcionais, já foram mencionados anteriormente os limites de dimensões para as tiras a produzir. São estes limites que afetam essencialmente todo o projeto da máquina, uma vez que são bastante distintos.

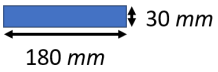
De modo a facilitar a compreensão desta informação, na Figura 2.7, apresenta-se a diferença de dimensões que podem ser requeridas.

A tira de menor dimensão tem cerca de 60 vezes menos área do que a de menor dimensão.

Como é possível constatar, há uma grande disparidade nas dimensões que as tiras podem requerer, o que faz com que a máquina a conceber tenha de ser suficientemente flexível, permitindo obter isolantes fundo de ranhura com qualquer dimensão dentro daquelas incluídas na gama de motores a produzir.



(a) Dimensões máximas



(b) Dimensões mínimas

Figura 2.7: Limites dimensionais para as tiras de isolante

A máquina a projetar deverá, automaticamente e com a mínima necessidade de intervenção humana, ser capaz de alimentar o processo conforme a necessidade, cortar as tiras nas dimensões pretendidas e vincar ambas as extremidades de todas as tiras de modo a formar um lote para uma OP.

Quanto à alimentação de material para o processo de transformação em tiras, é imperativo que seja despendido o menor tempo possível para troca de material. Deve também ser assegurada uma alimentação adequada do material isolante que permita que seja fornecido, para transformação, esticado e segundo uma referência de alinhamento do material.

No que ao corte das tiras diz respeito, espera-se obtê-las segundo as dimensões desejadas, de modo a poderem depois ser colocadas corretamente nos motores. O mesmo é expectável para as dobras que formam os batentes.

É ainda indispensável que haja uma redução no desperdício de material, bem como no ruído que todo o processo de produção dos isolantes fundo de ranhura acarreta.

Quanto ao aumento da produtividade, a *WEG EURO* espera num futuro próximo conseguir ter uma produção diária de 48 motores, sendo atualmente produzidos 43.

2.4 Conclusões

Ao longo do presente capítulo, foi exposto o problema proposto pela *WEG EURO*, bem como descrito o atual processo de produção dos isolantes fundo de ranhura nas instalações da fábrica de Santo Tirso. Foram ainda apontados os requisitos que o projeto em causa deve cumprir.

A forma como os isolantes em causa são produzidos é fortemente dependente da intervenção humana, o que é um fator que torna o processo sujeito a erro.

O projeto para a conceção de uma máquina que permita todas as funções declaradas anteriormente, mostra-se essencial para uma linha de produção que se encontra em constante evolução e que visa um acréscimo da sua produtividade.

A implementação de um mecanismo como o referido está dependente da capacidade de fornecimento de material, assim como da capacidade da estação de montagem que segue diretamente o corte e a realização dos vincos dos isolantes. Mostra-se, contudo, como uma inquestionável mais-valia, tanto por razões de produtividade como por motivos de uma constante procura por um ambiente de trabalho mais saudável e agradável.

Capítulo 3

Solução de princípio

Após a exposição do problema e dos requisitos principais como apresentados pela *WEG EURO*, é neste capítulo apresentada a solução de princípio proposta para responder às condições impostas.

Nesta secção serão expostas as ideias base que surgiram com o levantamento dos problemas apresentados. Para tal é feita, inicialmente, uma análise crítica dos requisitos apresentados.

Após um *brainstorming* tendo em conta a análise dos requisitos, foram exploradas opções quanto ao funcionamento e aos mecanismos responsáveis por cada uma das tarefas, que são também apresentadas ao longo do presente capítulo.

Antes de apresentar as principais propostas acerca desta solução de princípio, há ainda lugar para expor alguns esboços realizados inicialmente, auxiliando as ideias apresentadas.

3.1 Análise dos requisitos

De modo a facilitar a compreensão, assim como a exposição das ideias, o projeto é, daqui em diante, dividido em 2 partes.

A parte relativa ao armazenamento dos rolos de material isolante, e a partir da qual é feita a alimentação do restante processo, será denominada “secção de armazenamento”.

Quanto à restante componente do processo, será intitulada “secção de corte”.

A designação apresentada para cada uma das secções refere-se às suas principais funções, não descartando a importância das demais tarefas que são realizadas em cada uma das secções.

Uma vez que a produção de motores nas instalações de Santo Tirso da *WEG EURO* é realizada conforme as ordens de produção recebidas, a preparação dos isolantes fundo de ranhura segue o mesmo método. Tal circunstância deve-se ao tempo de realização deste processo, que pretende limitar ao mínimo o *stock* de lotes de tiras para os motores a produzir. Levando isto a que seja necessário produzir as tiras para uma OP na estação de preparação de isolantes, conforme as dimensões pedidas pela OP que será realizada de seguida na preparação de estatores.

A automatização da produção dos isolantes fundo de ranhura deve resultar num menor tempo de produção para um lote de tiras. Isto permitá ter em *stock* estes isolantes conforme o necessário para o processo de colocação destes nos estatores. Mas para que tal seja possível é necessário um planeamento prévio das OP, de modo que não seja necessário estar a alterar constantemente o material a cortar.

Desta forma, um aumento de rendimento para a produção dos isolantes fundo de ranhura está dependente do bom planeamento das OP, mas por outro lado este planeamento só é possível se houver um aumento de capacidade produtiva, pois é necessário que nunca faltem tiras de isolantes fundo de ranhura no processo de montagem dos motores.

Os rolos de material de classe de isolamento F são fornecidos com as suas extremidades laterais não úteis, o que se pode tornar um obstáculo. No entanto, tal pode ser contornado pela preparação do rolo antes de este ser introduzido no armazém ou pelo corte longitudinal automático do material em tiras, onde as extremidades podem ser retiradas.

São de seguida analisados os requisitos apresentados no Capítulo 2, para cada uma das secções que constituem a máquina que deverá alcançar um aumento de capacidade produtiva para o processo de obtenção dos isolantes fundo de ranhura.

3.1.1 Secção de armazenamento

Sabendo que existem 5 materiais isolantes diferentes, é necessário que o armazém tenha uma capacidade para pelo menos 5 rolos. Uma questão a ser estudada é a quantidade máxima de rolos de material isolante que o armazém pode abarcar, tendo em conta o tempo que levará a substituir um rolo de isolante após este ser consumido.

No que diz respeito à alimentação do próprio armazém, esta fica a encargo de um operador que deve, manualmente ou com o auxílio de um empilhador, introduzir os rolos de material isolante conforme necessário.

As características dimensionais dos rolos de material isolante, aquando do seu fornecimento, não variam muito. No entanto, é necessário ter em consideração a massa máxima que cada rolo pode apresentar e a disposição com que estão armazenados, de modo a não haver concentração

de esforços numa parte do armazém. Para tal, é importante que o sistema de transmissão de movimento escolhido tenha essa questão em consideração.

Antes do material ser alimentado até à secção de corte, este deve estar alinhado conforme uma posição relativa ao processo de corte. É então necessário encontrar um mecanismo que alinhe todos os rolos, independentemente das suas dimensões, segundo um ponto de referência.

A ligação entre as duas secções deve ser estudada de forma a perceber a melhor forma de a realizar e em que momentos é que se justifica.

3.1.2 Secção de corte

Os limites dimensionais que as tiras de isolante podem dispor, impõem a todo o processo uma grande flexibilidade que determinará as dimensões globais da máquina.

De modo a obter o material em tiras, é necessário que a máquina cumpra as tarefas a seguir realçadas.

- Corte longitudinal do material;
- Corte transversal do material;
- Vincos das extremidades;
- Transporte do material.

Ambas as extremidades têm de ter vincos de 5 mm. Apesar deste valor ser uniforme para todas as tiras a produzir, trata-se de uma dimensão pequena, o que implica um cuidado especial. O ângulo de 90º bem vincado merece também um cuidado especial uma vez que mais tarde influencia a aplicação dos isolantes no estator do motor.

A redução do desperdício de material terá de ser tida em conta na conceção da máquina.

3.2 Apresentação da solução de princípio

Para o problema identificado, é apresentada uma proposta de solução que visa cumprir os requisitos já enumerados. A solução alcançada faz uso de atuadores elétricos e pneumáticos, e apresenta as seguintes funções:

- Armazenamento dos rolos de isolante;
- Alimentação do material isolante;

- Corte de largura de tira;
- Corte de comprimento de tira;
- Vinco das extremidades das tiras;
- Transporte das tiras;
- Agrupamento das tiras de uma OP.

Na Tabela 3.1, são apresentados os nomes dos principais componentes e respetivas funções que cada secção compreende. No caso dos componentes da secção de corte, as suas funções são ainda divididas em dois tópicos, de modo a enquadrá-los nas funções gerais da máquina.

Tabela 3.1: Principais componentes e respetivas funções de cada secção

Secção de armazenamento		
Nome do componente	**Função**	
Estrutura de base	Suporte estrutural	
Sistema de movimentação	Movimentação vertical dos rolos de material isolante	
Posicionador lateral	Alinhar o rolo em uso segundo um ponto de referência na secção de corte	
Secção de corte e vincagem		
Nome do componente	**Função geral**	**Função específica**
Estrutura de base	Suporte estrutural	
Rolo de arrasto	Transporte do material	Transporte inicial do material
Pinça		Transporte do material, definição do comprimento de tira e transporte das tiras
Guia de corte longitudinal	Corte em tiras	Corte em largura das tiras
Posicionador de carruagens		Definição da largura de tiras a cortar
Guia de corte transversal		Corte em comprimento das tiras
Calcadores	Realização dos vincos	Fixação do material para corte e vinco
Cunhos		Vinco das extremidades

Na conceção da máquina é necessário ter em vista um novo princípio de funcionamento que permita colmatar os pontos mais críticos do processo manual atual. Desta forma, será necessário diminuir o número de movimentos, que se revelou ser relativamente grande. O desperdício de material deve ser tido em conta aquando da definição do processo de corte do material.

A consideração de um armazém automático é também uma mudança importante em relação ao processo atual. Este componente é idealizado de seguida, mas antes de iniciar tal descrição, segue um desenho geral da solução de princípio encontrada.

3.2.1 Secção de armazenamento

Na solução atual existem 5 rolos, quase ao mesmo nível, prontos para serem utilizados a cada momento e, ao lado e em cima de uma palete, um conjunto de rolos extra que estão colocados na vertical, de um modo não estruturado e que ocupam um espaço relativamente grande. Sempre que um novo rolo é necessário ser utilizado, requer uma atenção maior do operador e, portanto, uma maior ocupação temporal.

Na solução proposta esta separação deixa de existir passando os rolos que estão em utilização, bem como os complementares, a estar no mesmo espaço "vertical", com acesso direto, identificados e sem requerer área de base extra.

Esta solução permite ter uma maior quantidade de rolos, numa área de base mais pequena e, apesar de não estarem em simultâneo ao mesmo nível, podem ser deslocados de modo a serem alimentados a partir do mesmo nível. Caso seja necessário armazenar mais rolos, o armazém pode crescer em altura, ocupando a mesma área de base.

Para assegurar um local de armazenamento dos vários rolos de material isolante e ainda um sistema que seja capaz de fornecer o material isolante correto para cada OP, foi concebido um mecanismo que se baseia num sistema de correntes de transporte e rodas dentadas, onde serão colocados os vários rolos de material isolante. Para o suporte dos rolos existirão ferramentas acopladas às correntes que garantem o seu apoio. Este engenho funcionará como um carrossel vertical.

Este mecanismo permitirá armazenar um rolo de cada tipo, dentro dos que podem ser necessários, e ainda alguns de *stock*. Através do mecanismo de correntes acionado por um motorredutor, será possível posicionar o rolo necessário para a OP no local adequado para que, a partir desse ponto, seja fácil alimentar o processo de corte.

Um fator importante para esta fase do projeto é definir a quantidade de rolos que o armazém pode conter. Sabe-se que existem 5 tipos de material isolante que são usados na produção dos motores atual. Não se sabe se num futuro próximo serão adicionados materiais diferentes ou mesmo qual a quantidade de cada tipo de isolante que é consumida por dia, ou por semana. Estes fatores levam à necessidade de um armazém flexível que permita alimentar o processo de corte.

Lembrando que cada rolo é fornecido com um diâmetro exterior máximo de 300 mm, é considerado que se cada 2 rolos estiverem distanciados cerca de 500 mm entre os seus centros, esta medida deve ser a suficiente para que o sistema funcione sem interferências. Considerando esta proporção e tendo em vista o problema anteriormente referido, são apresentadas na Figura 3.1, 3 configurações nas quais se pode observar a diferença de alturas que implicaria o armazenamento de 10, 8 e 6 rolos, respetivamente. Estas imagens foram retiradas do estudo feito no *software* de desenho 2D, *AutoCAD*.

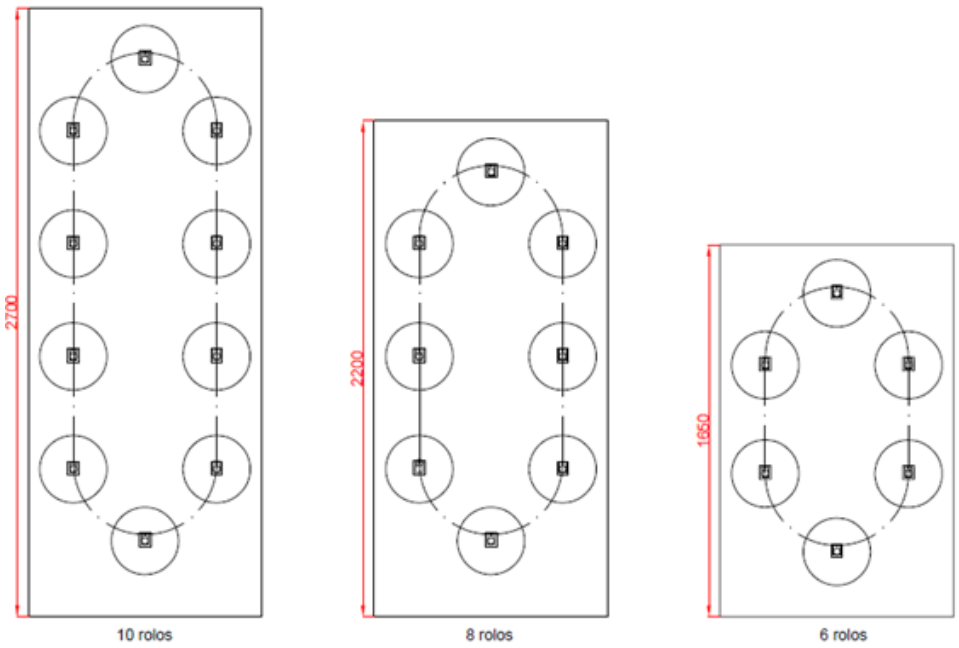


Figura 3.1: Estrutura de armazenamento conforme número de rolos

No esboço é tido em conta um espaço considerável entre o último rolo e o fundo do armazém para que, caso o material esteja um pouco desenrolado, este não fique danificado. Quanto ao número de rolos a armazenar, 6 parece ser insuficiente para o que é pretendido, porque apenas existiria um tipo de material em duplicado. Isto faria com que sempre que acabasse um dos rolos sem *stock*, todo o processo teria de parar, esperando até ser introduzido mais material. Assim sendo, e apesar da solução com 8 rolos ter uma altura mais razoável, propõe-se por desenvolver a solução com 10 rolos, pois permite ter em *stock*, um rolo extra de cada espessura de material.

Como visto anteriormente cada rolo pode ter uma massa, no máximo 56 kg o que perfaz um total de 560 kg no caso de serem armazenados os 10 rolos de isolante, como definido acima. No entanto, há outros fatores a ter em conta quando se trata da massa que o sistema deve suportar, pois os rolos são fornecidos com um interior oco. Isto implica a necessidade da existência de um elemento que permita ao rolo ser suportado pelas correntes. É também fundamental que este novo elemento não tenha massa excessiva, para tal foi definido que seria usado um tubo que suportasse cada um dos rolos. Há agora a necessidade de interligar estes tubos às correntes, sendo para tal usadas umas peças específicas que suportarão os tubos. Para melhor compreensão deste suporte são apresentadas de seguida duas vistas destes componentes, retiradas do desenho realizado em *AutoCAD*. Esta peça articulará nas correntes através de um pino, permitindo que a peça se mantenha sempre na vertical. Consequentemente o rolo ficará sempre na mesma posição relativa.

Na Figura 3.2, é também possível ver o exemplo de uma corrente que poderá ser usada para a aplicação em questão. Num dos elos é mostrado o pino que permite a articulação com os outros elementos, como neste caso, a peça de suporte ao tubo que transporta o rolo de material isolante.

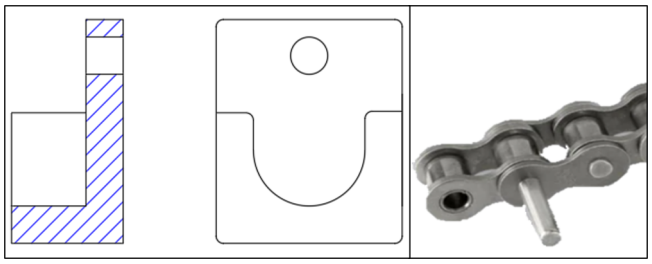
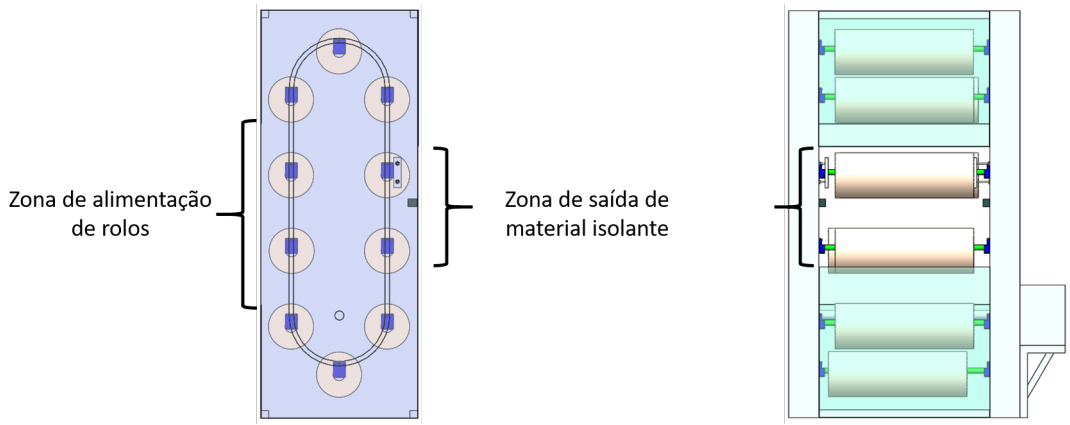


Figura 3.2: Suporte para tubo e corrente transportadora com pino

As correntes são acionadas por um sistema de transmissão que consiste num motor elétrico acoplado a um redutor de velocidade, que transmite movimento a um veio acoplado a duas rodas dentadas, sendo estas que transmitem o movimento às correntes.

As medidas acima referidas farão com que se obtenha sincronismo entre as duas correntes, permitindo assim o movimento desejado das correntes transportadoras e, consequentemente, dos rolos de material isolante. O redutor mencionado, fará com que se disponha do binário necessário para realizar o transporte dos rolos à velocidade desejada.

De seguida é mostrado o desenho do armazém vertical, na Figura 3.3, em duas vistas diferentes. Nestas, todos os rolos estão representados com o diâmetro exterior máximo.



(a) Vista lateral (b) Vista frontal

Figura 3.3: Armazém de rolos

A introdução dos rolos na estrutura apresentada pode ser feita manualmente ou ainda com o auxílio de um empilhador e será realizada na zona para tal função destinada que é indicada na Figura 3.3a.

Após o rolo ser inserido no armazém é necessário "guardar" a sua posição nas correntes, isto para que a qualquer momento seja possível saber onde está cada rolo de isolante.

Em cada momento que o armazém esteja parado, estão disponíveis 3 posições de alimentação a

partir do exterior. Estas posições serão identificadas no corpo do armazém, ficando para o sistema de comando assegurar a correspondência entre as posições de alimentação no armazém e a posição de cada rolo nas correntes.

Falta agora referir como o material será alimentado desde o armazém até aos restantes processos presentes na secção de corte. Para tal, a alimentação inicial do material será feita manualmente. Este método só se torna expedito se não houver uma troca constante do tipo de material isolante.

Um aspeto importante ainda não referido, é a distância do alimentador até à mesa que servirá de base para o restante processo. Foi então considerada uma distância de 500 mm entre os dois, e uma altura inicial da mesa da secção de corte de 1200 mm.

Neste ponto, é necessário ter em atenção a ergonomia do processo. Uma vez que, um trabalho de alta precisão é realizado, idealmente, a cerca de 1,1 m de altura, quando realizado por um operador em pé. O valor de 1,2 m para a altura da mesa parece ser adequado, uma vez que o operador tem de desenrolar o material isolante do rolo a uma altura ligeiramente mais alta até à mesa. Quanto à largura de rolo a puxar, máximo de 920 mm, este valor é também razoável para que o movimento seja realizado apenas por uma pessoa.

Há então a necessidade de alinhar o rolo de material isolante segundo uma referência relativa à secção de corte. Para realizar tal tarefa foi considerado um batente dinâmico que fosse responsável por alinhar qualquer rolo, independentemente das suas dimensões, a uma distância relativa ao restante processo, distância essa que será fixa. Desta forma, a alimentação do material isolante é realizada com o rolo sempre encostado a uma posição de referência.

Todos os pormenores aqui definidos retratam uma parte inicial do projeto, como tal, no capítulo seguinte são explorados com mais detalhe e são mostrados os componentes que constituem esta secção.

3.2.2 Secção de corte

Esta secção da máquina inclui os processos responsáveis pela transformação do material isolante em tiras de isolantes fundo de ranhura.

Como referido inicialmente, a grande alteração relativamente ao processo atual, passa pela realização dos cortes deixar de necessitar de uma grande quantidade de movimentos, incluindo os movimentos de rotação do material. Para tal, propõe-se que as tiras passem a ser cortadas, em simultâneo, longitudinalmente. De modo a alcançar tal feito existirão, como apresentado na Tabela 3.1, 2 guias para corte, sendo uma destinada ao corte longitudinal e outra ao corte transversal. Na Figura 3.4, estas guias são representadas pelas lâminas de corte longitudinal de tiras e pelo disco de corte transversal de comprimento de tira, respetivamente.

De seguida, exibe-se um esquema que representa a solução de princípio da parte responsável por cortar e vincar as tiras de isolante. Neste esquema estão desenhados, de forma representativa os componentes de maior interesse para a compreensão do funcionamento desta parcela da máquina.

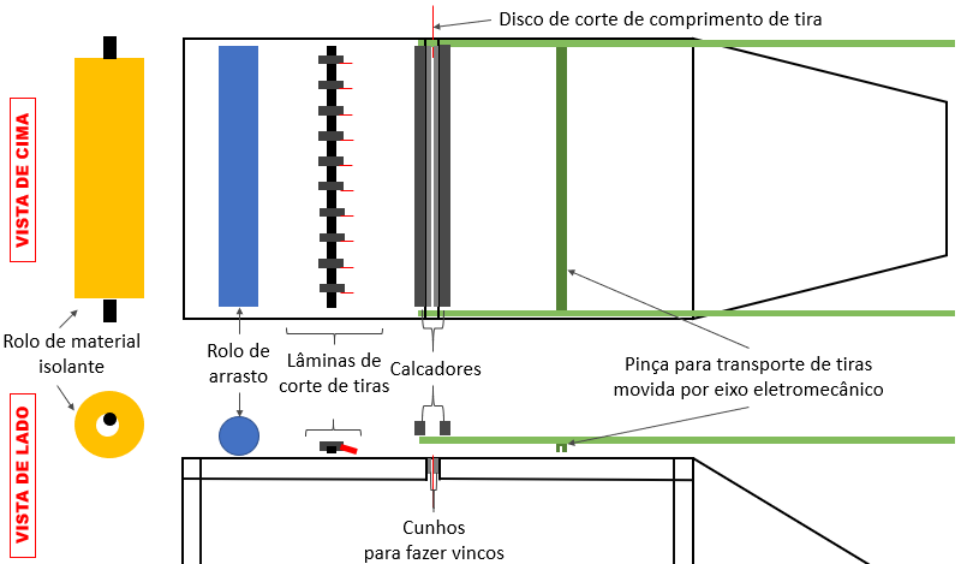


Figura 3.4: Esquema da secção de corte

Esta secção pode então ser dividida conforme as suas funções gerais, sendo elas:

- o transporte do material;
- o corte em tiras;
- os vincos;
- o suporte estrutural.

De seguida são apresentados os componentes responsáveis por tais funções, acompanhados com alguns dos esboços do estudo preliminar.

Transporte do material

A alimentação inicial do material a partir do rolo é sempre realizada manualmente pelo operador do equipamento. No entanto, desde o momento em que a máquina entra em funcionamento automático é necessário que o deslocamento do material seja ajustado por meios motorizados. Encarregues dessa função, estão dois componentes: o "rolo de arrasto" e a "pinça".

O rolo de arrasto, colocado logo no início da secção de corte, consiste num tubo oco com uma superfície exterior antideslizante que, sendo acionado por um motor elétrico acoplado a um redutor, é capaz de transmitir movimento de arrasto ao material isolante quando a sua superfície for pressionada sobre o material. A ação associada ao rolo de arrasto está dividida em três fases:

- na 1ª fase o rolo de arrasto está levantado para permitir a alimentação manual pelo operador, até o material atingir a zona alcançada pela pinça;
- na 2ª fase o rolo de arrasto desce sobre o material e a pinça agarra o material, iniciando-se assim um movimento simultâneo com a pinça a definir o movimento de transporte, e o rolo de arrasto a criar uma certa resistência no material de forma a que o material se mantenha tensionado;
- a 3ª fase dá-se quando for necessário recolher o material de volta para o armazém, sendo o rolo de arrasto movido em sentido contrário até o material estar libertado para recolha final pelo operador.

De modo a realizar tais tarefas, para além do motor e do redutor, este rolo estará equipado com dois atuadores pneumáticos que permitem a sua elevação, permitindo a introdução manual de material seguida da pressão sobre o material.

Tal subconjunto funcional é apresentado na Figura 3.5.

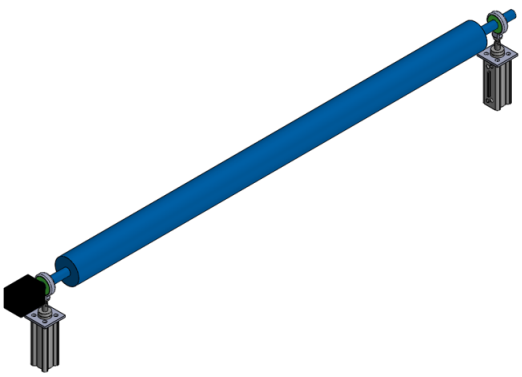


Figura 3.5: Desenho do rolo de arrasto e atuadores de elevação

No que à pinça diz respeito, este componente é responsável por duas funções, sendo essas:

- preender o extremo do material e arrastá-lo, e;
- definir o valor do comprimento de tira a cortar.

Uma vez que o comprimento de tira a cortar é definido pelo movimento da pinça, o corte transversal do material é feito sempre no mesmo local. Para tal ser possível, é necessário que o movimento de deslocamento seja de valor preciso e controlável. É proposto que este movimento seja realizado por dois eixos eletromecânicos paralelos movidos por correias dentadas cujas polias são interligadas por um veio acionado, por sua vez, por um motorredutor.

A pinça transporta o material após este ser cortado transversalmente e ter pelo menos um dos vincos realizado. De forma a realizar esta tarefa, para além do movimento de deslocamento que define o comprimento de tira a cortar, deve possuir dois outros movimentos, o de aperto e o de elevação.

Para poder transportar o material, a pinça tem de o conseguir agarrar. Para o fazer deve apertar o material por um dos vincos. Estes têm uma altura de 5 mm. De forma a poder agarrar esses 5 mm de material, o sistema deve ser elevado e posicionado sobre o vinco, após isso é descido, e só aí a pinça pode apertar o material.

Na Figura 3.6, é apresentada uma sequência de movimentos do sistema da pinça. A pinça avança, numa posição levantada, para um dos vincos e só após descer é que aperta o material, levando-o para uma zona de recolha.

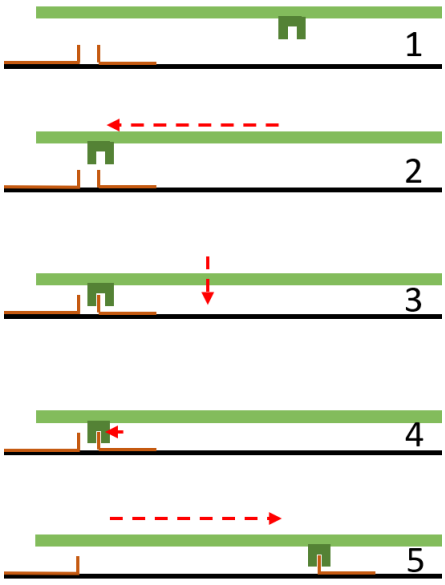


Figura 3.6: Movimentos da pinça

Este sistema deve ter um deslocamento de cerca de 1200 mm, de forma a poder produzir tiras com o seu valor máximo de comprimento, 1100 mm, e ainda deslocá-las para uma zona de recolha.

As barras que estarão responsáveis pelo aperto do material, devem ter mais de 930 mm de comprimento, sendo este o valor máximo de largura com que os rolos de material isolante são fornecidos. A abertura dessas barras deve ser tal que permita abranger todas as tiras e, ao mesmo tempo, não danificar uns vincos ao agarrar outros.

A elevação do sistema, deve ser de 5 mm, o que corresponde ao comprimento dos vincos.

Sintetizando todos os movimentos dos componentes encarregues do transporte de material segue-se a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Movimentos e funções dos componentes responsáveis pelo transporte de material

Componente	Movimento	Função
Rolo de arrasto	rotação	arratso do material
	translação vertical	permitir alimentação do material
		e pressão de arrasto
Pinça	translação horizontal	transporte do material
	aperto	agarrar material pelo vinco
	translação vertical	posicionar para permitir agarrar material

Corte em tiras

Esta tarefa destaca-se pela diferença em relação ao procedimento usado atualmente. Na Figura 3.7 são mostrados os principais movimentos que realizam o corte do material isolante em tiras.

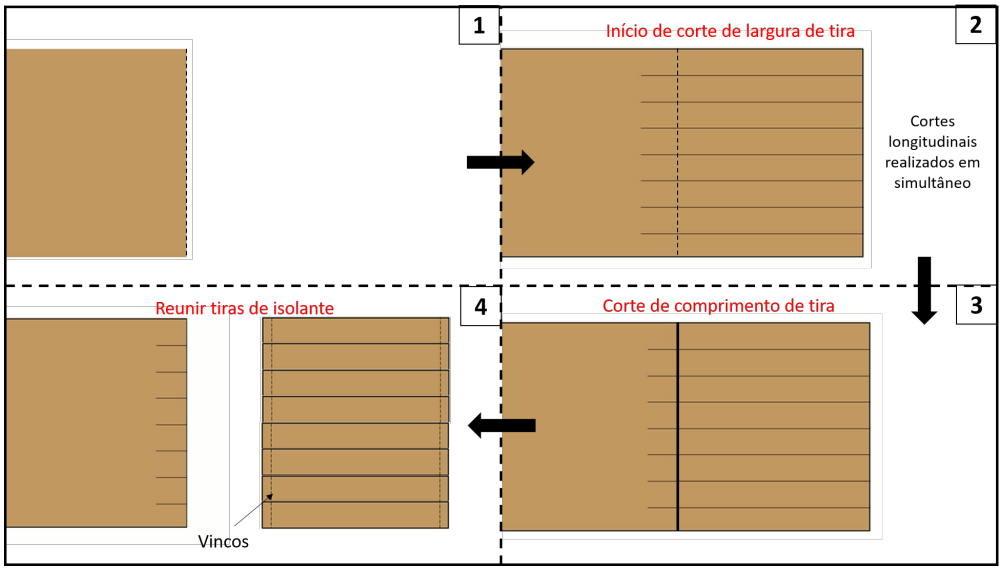
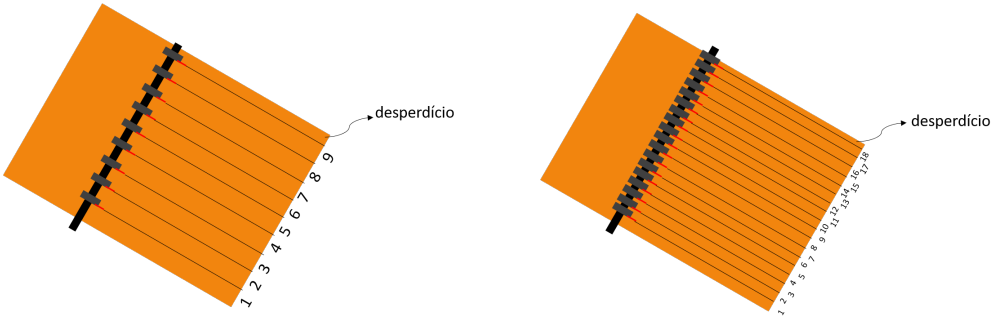


Figura 3.7: Movimentos da solução de princípio para corte em tiras

De seguida são apresentados os componentes responsáveis pela realização dos movimentos acima representados. De referir que o corte de largura de tira será designado de corte longitudinal e o corte de comprimento de tira de corte transversal.

De modo a haver um único local onde é realizado, em simultâneo, o corte longitudinal das tiras do material isolante, foi concebido um sistema em que sobre uma guia se movimentam várias carruagens que transportam as lâminas de corte. O posicionamento transversal relativo de tais elementos é o que define a largura de cada tira.

Na Figura 3.8, são apresentados dois esboços do corte longitudinal, onde é possível ver a diferença entre o corte de 9 tiras e o corte de 18 tiras.



(a) Corte de 9 tiras

(b) Corte de 18 tiras

Figura 3.8: Diferentes disposições da guia de corte longitudinal

Assumindo que os rolos de classe de isolamento F são facejados numa das extremidades antes de serem introduzimos no armazém, o número de carruagens na zona de corte é igual ao número de tiras úteis obtidas. Caso os rolos não sejam preparados inicialmente, haveria a necessidade de adicionar uma carruagem e ter mais uma segunda tira de desperdício.

Estando a largura de tira compreendida entre 30 e 300 mm, num rolo de material podem ser cortadas desde 3 a 30 tiras, simultaneamente. De forma a cumprir esses limites, a guia deve ser equipada com um máximo de 30 carruagens. No entanto, quando não estão a ser cortadas 30 tiras, as carruagens devem estar afastadas da zona de corte e alocadas a uma posição da guia que não interfira com o material. A guia deve ser de um comprimento que permita ter guardadas 27 carruagens.

As carruagens que transportam as lâminas serão, daqui em diante, denominadas de carruagens porta lâminas. Uma vez que a largura mínima de tira é 30 mm, as carruagens têm de ter uma largura inferior a esse valor, de modo a permitir o corte de 30 tiras em simultâneo.

Há a necessidade de posicionar estas carruagens conforme a largura de tira a cortar. Para tal, estas são arrastadas ao longo da guia para a posição que devem ocupar. Este arrasto poderia ser realizado de modo manual, por um operador que estivesse encarregue de arrastar cada uma das carruagens, ou de modo automático.

Se esta tarefa fosse realizada de modo manual, seria um processo moroso e, uma vez que é um processo rigoroso e a guia tem mais de 1,7 m, o acesso a algumas das carruagens seria limitado.

Assim, é proposta uma solução automática, ficando a questão se existiria um sistema de posicionamento para cada uma das carruagens, ou um sistema que estivesse encarregue do posicionamento de todas as carruagens.

Uma vez que o reposicionamento das carruagens será realizado em simultâneo com outras tarefas de preparação da máquina, foi escolhido usar um sistema responsável por posicionar todas carruagens, não acrescendo significativamente o tempo de preparação da máquina. Por outro lado, se houvesse um sistema para cada carruagem seriam necessários 30 sistemas de posicionamento.

Para essa tarefa, será necessário um órgão que consiga mover cada uma das carruagens, individualmente, devendo agarrá-las e arrastá-las.

Este órgão pode ser constituído por um eixo eletromecânico que contém, na sua carruagem, um dispositivo capaz de engatar num suporte para posicionamento de cada carruagem porta lâminas. A carruagem deve ainda ter um meio adequado de fixação à guia, para que depois de posicionada não se possa mover.

O posicionamento das carruagens deve ser feito com a guia de corte longitudinal em repouso, o que significa que as lâminas não podem estar na posição de cortar o material. Para tal a guia deve possuir duas posições:

- a posição de "repouso", quando não está selecionado o corte longitudinal ou quando são reposicionadas as carruagens;
- a posição de "corte", quando está selecionado o corte em tiras;

De modo a definir tais configurações, a guia será girada através de um movimento de alavanca. Na Figura 3.9, é possível observar um esboço das duas posições.

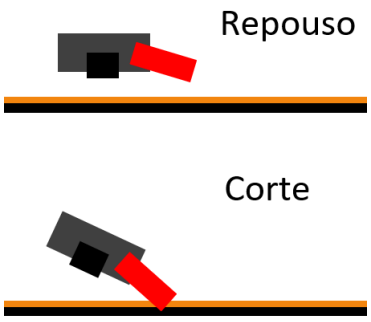


Figura 3.9: Posições da guia de corte longitudinal

Estando o corte longitudinal do material definido, é agora mostrado o procedimento para a realização do corte transversal. Este, como referido inicialmente, é realizado sempre no mesmo local.

Foi então concebido um dispositivo em que o corte de comprimento de tira é realizado através de um disco de corte acionado por um motor elétrico de elevada rotação. Para o movimento de

translação deste disco foi escolhido um eixo eletromecânico. Tal configuração é apresentada na Figura 3.10.

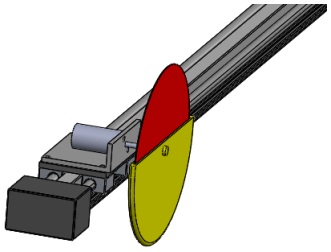


Figura 3.10: Desenho da guia responsável pelo corte de comprimento de tira

Apesar de ser este o corte que define o comprimento de tira, essa dimensão é na realidade definida pela pinça. Na Tabela 3.3, está sintetizada a informação relativa aos movimentos e funções dos componentes responsáveis pelo corte das tiras de material isolante.

Tabela 3.3: Movimentos e funções dos componentes responsáveis pelo corte das tiras

Componente	**Movimento**	**Função**
Guia de corte transversal	alavanca	definir posição da guia (em corte vs. em repouso)
Posicionador de carruagens	translação horizontal	arrastar as carruagens porta lâminas
	avanço do atuador pneumático	acoplamento com carruagens porta lâminas
Guia de corte longitudinal	translação horizontal	transporte do disco de corte
	rotação	corte do material por parte do disco

Realização dos vincos

Para que os isolantes fundo de ranhura possam manter a sua posição no estator do motor, estes carecem de vincos nas suas extremidades ao longo da largura total de tira que funcionarão como batentes no estator. Com a mudança da estratégia de corte das tiras, muda também o método para a realização dos vincos, passando estes a ser realizados na zona onde é feito o corte transversal do material, logo após a realização deste.

Existem dois componentes encarregues de efetuar tal tarefa, sendo estes os calcadores e os cunhos.

Os calcadores fixam o material isolante, não só para a realização dos vincos, mas também para que o material esteja fixo aquando da realização do corte transversal. Estes são constituídos por duas barras metálicas com movimento vertical realizado através de dois atuadores pneumáticos colocados nas extremidades de cada uma das barras. Com isto, cada barra tem movimentos independentes.

No que diz respeito à realização dos vincos, propriamente dita, esta será realizada por cunhos que, através da sua elevação, vincam o material já cortado em tiras. Este movimento é conseguido através de duas barras metálicas movimentadas por 2 atuadores pneumáticos cada uma.

Na Figura 3.11, é apresentado um esquema que mostra qual a ordem de movimentos para a realização dos vincos. Após os calcadores calcarem o material, o disco de corte corta o material transversalmente e, só após esse corte, os cunhos sobem realizando os vincos nas extremidades das tiras.

De salientar que um dos requisitos especificados pela *WEG EURO* é que os vincos tenham 5 mm em cada uma das abas, o que faz com que a distância entre as barras dos calcadores seja de apenas 10 mm. Uma vez que este espaço é reduzido, é necessária uma atenção redobrada no que diz respeito à configuração dos cunhos que, por sua vez, terão também dimensões reduzidas.

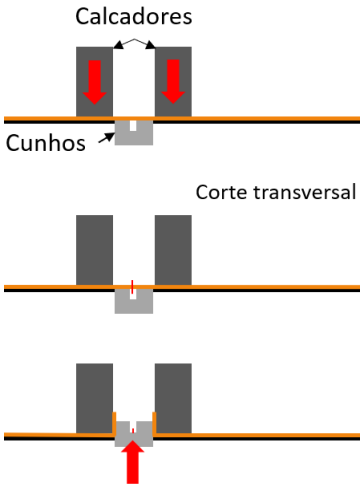


Figura 3.11: Realização dos vincos

Na Figura 3.12, é apresentada uma sequência de movimentos entre os componentes de realização dos vincos e a pinça. Nesta sequência é apresentada uma situação em que a pinça deve agarrar o material pelos dois vincos presentes na zona de corte transversal.

Após os vincos estarem prontos, o calcador frontal sobe e a pinça, na posição mais elevada, é deslocada até ao 1º vinco. A pinça desce em simultâneo com os cunhos, de forma a que o material não tenha tendência a inclinar, na direção dos cunhos, e a pinça não seja capaz de agarrá-lo. Após isso a pinça aperta o material e transporta-o para a zona de recolha. Os cunhos voltam a ser elevados, para garantir a posição dos vincos, e o calcador posterior é então elevado permitindo que a pinça possa ser deslocada até ao 2º vinco. Com a pinça posicionada, este pode então descer em simultâneo com os cunhos e, após agarrar o material, pode transportá-lo até ao local que defina o comprimento a cortar.

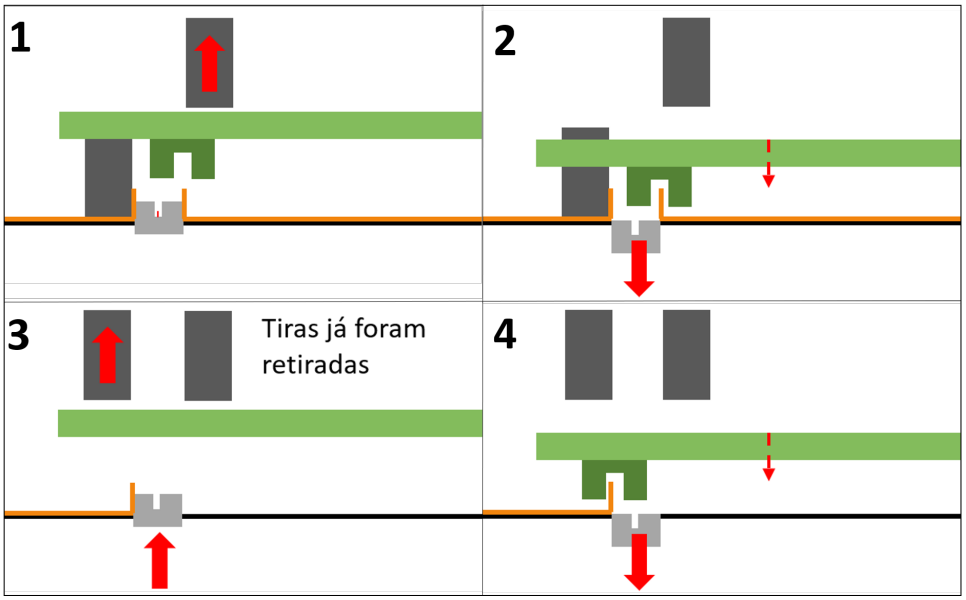


Figura 3.12: Realização dos vincos e transporte do material

Na Tabela 3.4, são mostrados os movimentos dos componentes intervenientes na realização dos vincos.

Tabela 3.4: Movimentos e funções dos componentes responsáveis pela realização dos vincos

Componente	Movimento	Função
Calcadores	translação vertical descendente	fixar o material para cortar e vincar
Cunhos	translação vertical ascendente	vincar extremidades das tiras

Suporte estrutural

Estando então os principais movimentos definidos, assim como os componentes encarregados de os realizar, é necessário referir a base que suportará tais componentes. Esta, por sua vez, também tem funcionalidades próprias. Na Figura 3.13, está representada a proposta do desenho que serviu como referência para a base da secção de corte da máquina.

Como é possível observar, para além das partes concebidas para o suporte e colocação dos componentes acima referidos, a base que servirá de estrutura a esta secção, tem ainda no seu início uma parte articulável, com inclinação ajustável, que se destina a facilitar o deslizamento do material durante a alimentação deste para o rolo de arrasto.

No final, há uma outra superfície inclinada, esta responsável por guiar e juntar as tiras até ao recipiente de recolha, destino final destas.

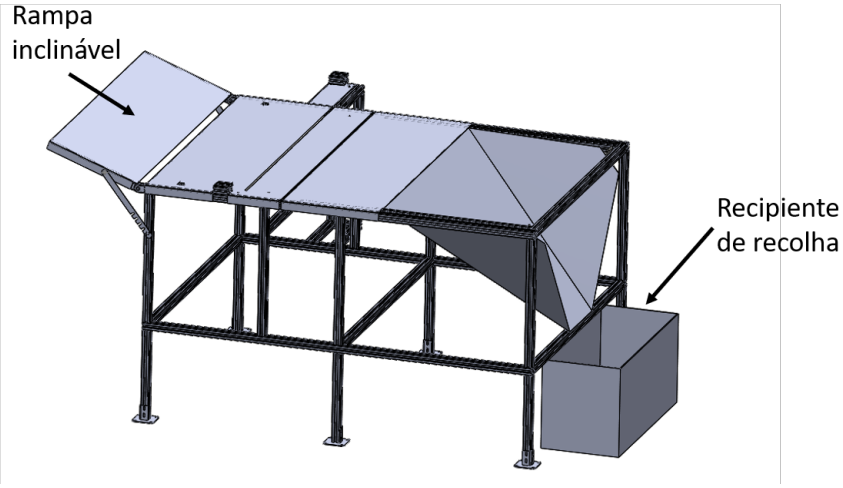


Figura 3.13: Desenho da estrutura que suporta os restantes componentes

3.3 Conclusões

Ao longo deste capítulo foi feita uma análise dos requisitos que tinham sido apresentados no Capítulo 2.

A solução de princípio proposta para a máquina foi dividida em duas secções:

- a secção de armazenamento;
- a secção de corte.

Para cada uma destas secções, foi feita uma análise dos requisitos e ainda foi apresentada a solução de princípio, onde foram descritos todos os movimentos necessários para cada uma das tarefas, assim como os principais componentes.

Com a descrição e idealização das tarefas foi possível averiguar que apesar do *setup* do processo e da remoção das tiras cortadas de um OP, estarem dependentes da componente manual e, como tal, da atenção de um operador, o restante processo revela-se automático o suficiente para não necessitar da atenção de um operador.

Com o finalizar desta fase do projeto de desenvolvimento da máquina, foi feita uma apresentação para a *WEG EURO*, de modo a conferir o cumprimento dos requisitos por estes expressos e ainda confirmar o interesse na solução apresentada. Do desenvolvimento da solução de princípio surgiu a solução construtiva que é apresentada no Capítulo 4.

Capítulo 4

Solução construtiva

No presente capítulo é descrita a solução construtiva proposta, sendo esta o resultado de um processo iterativo, que contou com várias soluções que foram aperfeiçoadas, ao longo do tempo.

Inicialmente é apresentada a solução geral proposta, para posteriormente se passar à apresentação de cada um dos componentes que a constitui, dividindo-os nas respetivas secções.

Tal explicação é apoiada pela solução modelada no *software SOLIDWORKS*, assim como pela explicação das decisões tomadas para cada um dos elementos.

4.1 Solução global

Na presente secção é apresentada a solução construtiva geral para a máquina responsável pela produção de isolantes fundo de ranhura. Esta é baseada em aspetos vistos no Capítulo 3 e em alguns que foram melhorados após o estudo prévio.

De modo a cumprir os requisitos apresentados no Capítulo 2, esta solução é constituída por duas secções, a secção de armazenamento e a secção de corte.

A secção de armazenamento permite ter, num armazém automático, 10 rolos de material isolante. Uma vez que existem 5 tipos de cada material isolante, existirão 2 rolos de material de cada tipo em armazenamento. Este número permitirá que haja sempre em *stock* um rolo de cada tipo.

A alimentação do armazém é realizada manualmente e deve ser feita preferivelmente quando o armazém se encontra parado e haja necessidade para tal.

A disposição dos 10 rolos deve ser feita tendo em conta a necessidade do uso contínuo de um material, traduzindo-se isto em haver necessidade de adicionar ao armazém o mesmo tipo de

material daquele que está a ser usado na produção de isolantes. Assim, rolos do mesmo tipo de material não devem estar em posições consecutivas, permitindo que seja reabastecido o armazém aquando do funcionamento da secção de corte.

Quando se muda o tipo de material a utilizar no processo de produção, deve ser selecionado o rolo de material que está numa posição que permite o abastecimento de material em falta. Em situações especiais, o armazém pode ser abastecido com uma quantidade diferente de cada tipo de material isolante, de modo a responder às necessidades da produção no momento.

A transferência de material da secção de armazenamento para a secção de corte é realizada manualmente e apenas quando o rolo de material isolante se encontra alinhado segundo uma referência em relação à secção de corte.

Após o material se encontrar sobre a estrutura da secção de corte e com o primeiro vinco realizado, passa a ser transportado pela pinça que estará também responsável pela definição do comprimento de tira a cortar, para tal esta tem um curso que compreende os limites dimensionais dessa dimensão.

O rolo de arrasto auxilia o transporte do material isolante, transmitindo uma resistência ao movimento da pinça, fazendo assim com que o material se mantenha tensionado. Quando a secção de corte está a ser alimentada, é o rolo de arrasto que se encarrega de tal função, assim como quando o material está a ser recolhido para o armazém.

O corte das tiras foi dividido no corte longitudinal, responsável pelo corte de largura de tira, e o corte transversal, que faz o corte de material ao longo de toda a largura com que cada rolo é fornecido. O segundo corte é o responsável pelo corte de comprimento de tira, embora essa dimensão seja definida pela pinça.

O corte longitudinal permite obter a largura de tira entre 30 e 300 mm. Para tal existem 30 carruagens porta lâminas para assegurarem em simultâneo o corte do número máximo de tiras. A localização de cada carruagem é realizada por um posicionador que estará responsável por a arrastar ao longo de uma guia, definindo a posição de cada uma para cada OP, e assim definir a largura de tira.

Os vincos nas extremidades são realizados por cunhos, após o material estar calcado e cortado transversalmente. Este elemento realiza dois vincos em simultâneo, o vinco posterior do material que a pinça transporta e o vinco anterior do material que ainda se encontra a ser cortado longitudinalmente.

As estruturas das duas secções foram aperfeiçoadas, de modo a servir de suporte estável e adequado aos componentes e, ainda, a cumprir as suas próprias funções.

A proposta da solução construtiva alcançada é exibida na Figura 4.1.

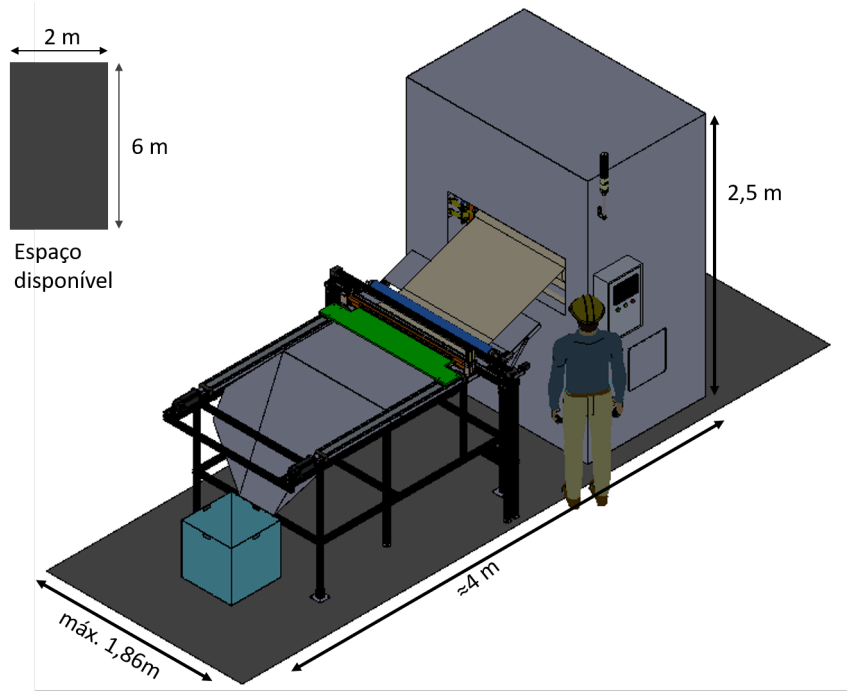


Figura 4.1: Desenho da solução construtiva geral

Na Figura 4.1 estão representadas as dimensões globais do equipamento proposto, estando estes valores dentro dos limites estabelecidos no Capítulo 2.

Ao longo do presente capítulo serão apresentados os componentes que constituem a solução geral acima exibida. Tais elementos e suas funções foram já expostos no Capítulo 3, mas serão neste detalhados, passando pela caracterização de cada uma das suas partes integrantes. Também em relação ao capítulo anterior, é de realçar que alguns dos componentes aqui apresentados sofreram alterações, assim como foram adicionados outros componentes que aperfeiçoam a solução inicialmente considerada.

4.2 Secção de armazenamento

O movimento dos 10 rolos, que podem estar na secção de armazenamento, é realizado através de correntes e de estruturas adequadas para o suporte dos rolos. Para o acionamento das correntes, é utilizado um motor elétrico com um redutor acoplado.

Na Figura 4.2 está modelada a secção de armazenamento que integra o processo de produção de isolantes fundo de ranhura. Nesta representação a cobertura está com transparência de modo a ser possível ver o conteúdo do armazém.

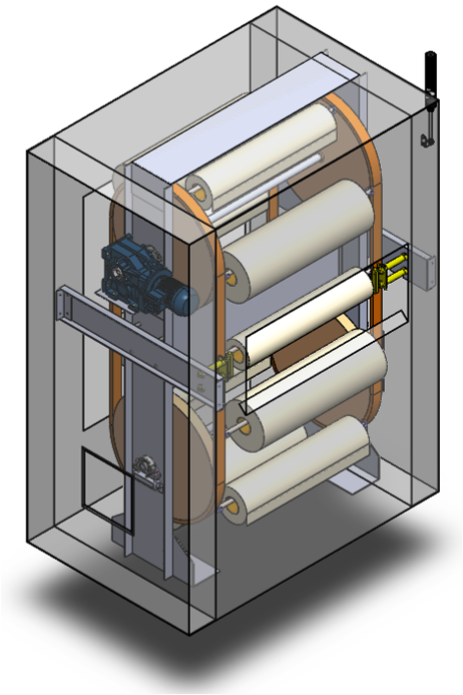


Figura 4.2: Desenho do armazém automático

Esta será dividida conforme os componentes apresentados na Tabela 4.1, onde está presente a correspondência destes com as suas funções, assim como apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 4.1: Componentes e respetivas funções da secção de armazenamento

Secção de armazenamento	
Nome do componente	**Função**
Sistema de movimentação	Movimentação dos rolos de material isolante
Estrutura de base	Suporte estrutural
Posicionador lateral	Posicionar os rolos segundo um ponto de referência

4.2.1 Sistema de movimentação

Como mencionado no Capítulo 3, a movimentação dos rolos de isolante será realizada através de correntes, que serão acionadas por rodas dentadas.

A velocidade para a movimentação vertical dos rolos não excederá 100 mm/s e estes devem estar afastados, verticalmente, 500 mm.

Para transmitir movimento simultâneo às rodas dentadas motoras, o veio que as interliga será acionado por um motorredutor de parafuso sem fim, que deve ter à saída do redutor uma velocidade de cerca de 2,5 rpm. Este sistema deve ser capaz de movimentar os rolos do armazém conforme

qualquer configuração. Como tal, foi selecionado tendo em conta o caso extremo, que seria, levantar 5 rolos de material completos, com 56 kg, não tendo rolos nas outras posições a servir de contrapeso.

A escolha deste redutor, recaiu sobre a necessidade de as correntes não se poderem movimentar quando se está a alimentar o armazém. A solução construtiva destes redutores, não permite que haja movimento reversível, isto é, que a coroa possa acionar o parafuso. Uma vez que o mecanismo não é reversível, torna-se mais seguro para estes casos onde estão a ser movimentadas cargas.

As características do motorredutor escolhido são apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Características do motorredutor responsável pelo acionamento do armazém

Características	
Solução construtiva	motorredutor de parafuso sem fim e roda de coroa
Tipo de energia	elétrica
Razão de redução	371,25
Potência nominal	2 [kW]
Velocidade à saída do redutor	2,5 [rpm]
Binário à saída do redutor	1,2 [kNm]

Estando o motorredutor a transmitir movimento às rodas dentadas superiores, podem estas ser designadas por rodas dentadas motoras. A alocação do sistema transmissor de movimento ao veio superior está relacionada com a necessidade da adição de um sistema tensionador para as correntes no veio inferior, como será visto mais adiante. Na Figura 4.3 é possível observar o local onde se encontra o conjunto do motor e redutor.

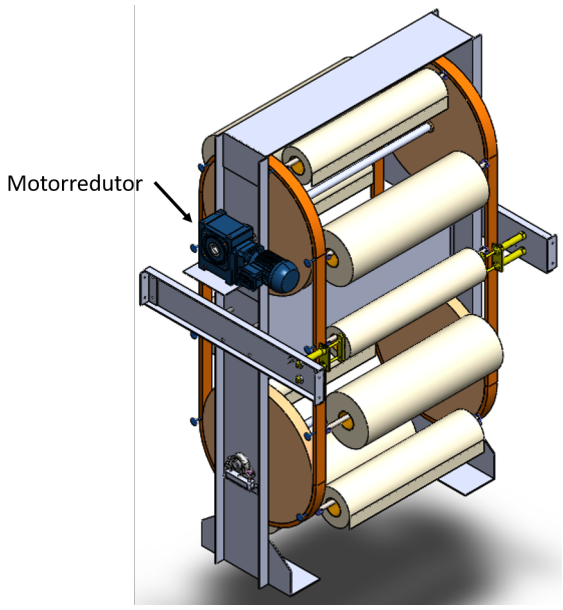


Figura 4.3: Localização do motorredutor

Além das 4 rodas dentadas mostradas na Figura 4.3, foram adicionadas rodas dentadas loucas. Estas servirão de apoio às correntes, para que estas mantenham a sua posição e não sejam afetadas pelos esforços que a movimentação dos rolos causam e pelos esforços a que estão sujeitas quando o rolo que serve de alimentação à secção de corte esteja a ser alinhado. Estas rodas dentadas foram colocadas em ambas as correntes e em ambos os lados sendo a sua disposição representada na Figura 4.4. Nas restantes figuras da secção de corte estes elementos foram ocultados, de forma a deixar as figuras mais percetíveis.

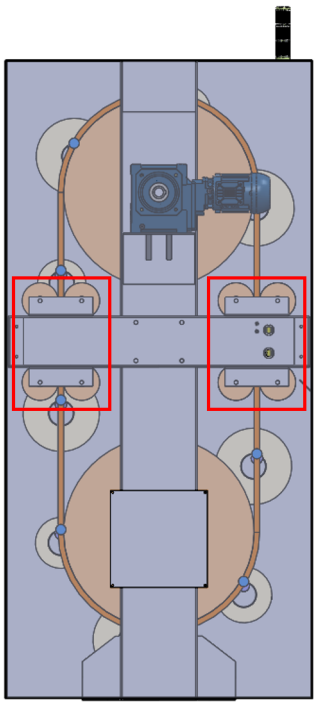


Figura 4.4: Rodas dentadas de apoio

Pela exigência da aplicação foi considerado o uso de correntes de rolos duplas. Este tipo de corrente permite reduzir as forças centrífugas e a velocidade de impacto, sendo usualmente aplicadas em situações que requerem uma carga moderada e grande durabilidade. As engrenagens a estas acopladas têm de ser selecionadas consoante o tipo de corrente, o seu passo e, ainda, a distância a que os rolos são colocados uns dos outros, pois este valor influência o tamanho das engrenagens. De seguida, e em modo de exemplo, na Figura 4.5 é apresentado um exemplo de uma corrente de rolos dupla [8] e de uma roda dentada [9] para tal aplicação.

Ao longo das figuras apresentadas, as correntes e as engrenagens são apresentadas de forma simplificada.

De modo a que os rolos possam ser transportados, estes serão introduzidos num tubo oco. Este tubo e os acessórios que permitirão a fixação nas correntes são os responsáveis pela definição da distância a que são colocadas as correntes.



Figura 4.5: Exemplo de corrente [8] e roda dentada [9]

Os rolos ficam apoiados em dois suportes, um em cada corrente, e são a estas fixos por pinos. Estes suportes têm rasgos, onde ficam apoiados os tubos.

Na Figura 4.6, podem ser observados os acessórios onde são colocados os rolos assim como a sua colocação nas correntes.

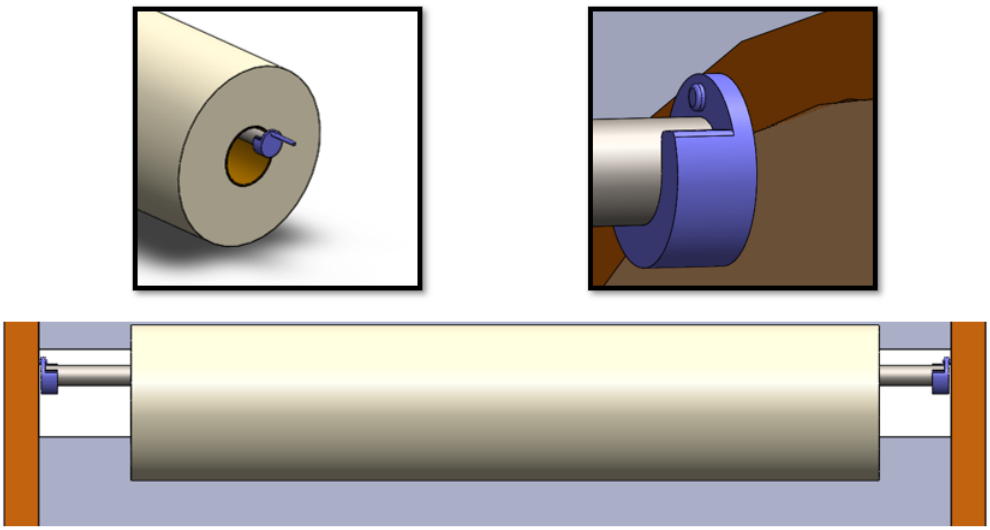


Figura 4.6: Posicionamento do material isolante nas correntes

Para garantir o correto uso das correntes, e como tal assegurar o permanente tensionamento destas, foi considerado um sistema tensor que permite, manualmente, fazer o ajuste do tensionamento das correntes conforme a necessidade que estas possam requerer com o seu uso ou desgaste com o tempo, não necessitando de peças ou acessórios extra que acarretariam um preço mais elevado.

Tal sistema, é apresentado na Figura 4.7, e exibe a colocação deste no armazém assim como a sua estrutura. O seu funcionamento baseia-se no aperto da porca que faz com que a chumaceira que suporta o veio ligado às duas rodas dentadas inferiores, desça mantendo as correntes sempre esticadas. Este ajuste manual tem de ser realizado por um operador quando necessário e deve ser

feito de ambos os lados de modo a manter sempre o alinhamento das correntes e rodas dentadas.

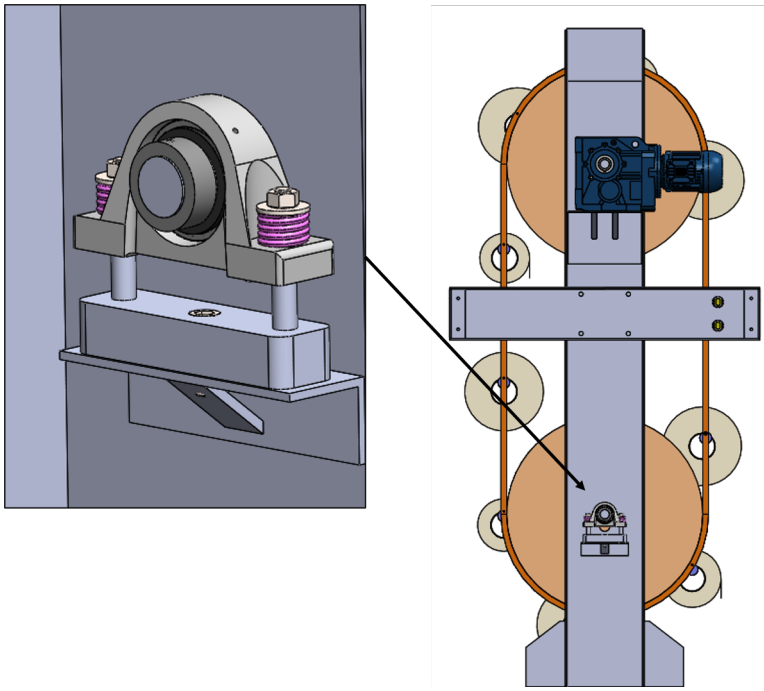


Figura 4.7: Sistema tensionador de correntes

4.2.2 Estrutura de base

O suporte estrutural do armazém é composto por chapas quinadas com 6 mm de espessura. Existem 2 chapas ao alto, de 2,5 m, que são fixas ao solo por chapas, também elas, de 6 mm. Estas chapas de 2,5 m, são ainda conectadas no topo e a meio.

Na Figura 4.8 é mostrada a estrutura que suportará os elementos responsáveis pelo armazenamento dos 10 rolos de material isolantes e da sua movimentação.

Às chapas que formam a estrutura principal, foram adicionados suportes para os veios do sistema de movimentação, assim como para o motorredutor. Foram também adicionados suportes para o tensionador de correntes, que permitem o deslocamento do veio inferior do sistema de movimentação.

A meio da estrutura foi adicionada uma chapa que para além de conferir resistência e estabilidade à estrutura, serve também de prevenção para que, no caso de um rolo ser inserido nas correntes com o auxílio de um empilhador, este não consiga alcançar os rolos que estão em frente à posição a ser preenchida, impedindo assim que os danifique.

A cada um dos lados desta estrutura, foi adicionada uma chapa que fará a ligação da estrutura de base à cobertura do armazém automático. Estas chapas servem também de suporte para os

atuadores pneumáticos que equipam o alinhador lateral.

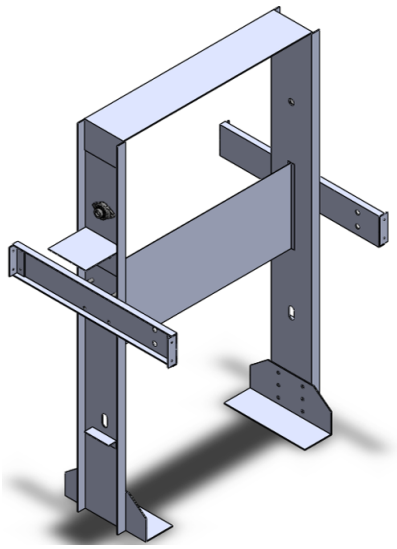


Figura 4.8: Desenho da estrutura de base do armazém automático

Para cobrir esta estrutura e os componentes a esta associados, existem 5 chapas de 3 mm que formam a cobertura do armazém. Esta cobertura mantém os elementos protegidos das condições externas e delimita o espaço de interação do operador com os sistemas.

As chapas frontal e traseira têm cortes que delimitam as áreas de alimentação do restante processo, como é possível observar na Figura 4.9.

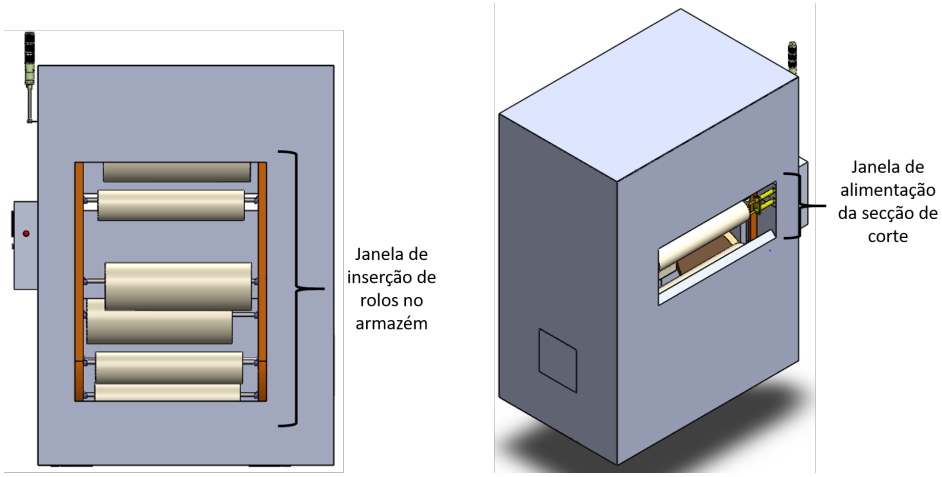


Figura 4.9: Delimitações para alimentação do armazém automático e do processo de corte

No local destinado à inserção de rolos no armazém, existe uma altura de 1500 mm onde é possível realizar tal tarefa, sendo assim viável a introdução de mais do que um rolo de material

sem ser necessária a movimentação das correntes. Sempre que um rolo esteja posicionado para alimentar a secção de corte ficam disponíveis 3 posições para alimentação do armazém.

Já o local destinado à alimentação do restante processo de produção de tiras de isolante, tem uma janela de 450 mm de altura onde é imobilizado o rolo de isolante para alimentação da secção de corte. Na Figura 4.10 é possível observar a localização ideal para a alimentação do material isolante, sendo essa a uma altura de 1,5 m a partir do solo.

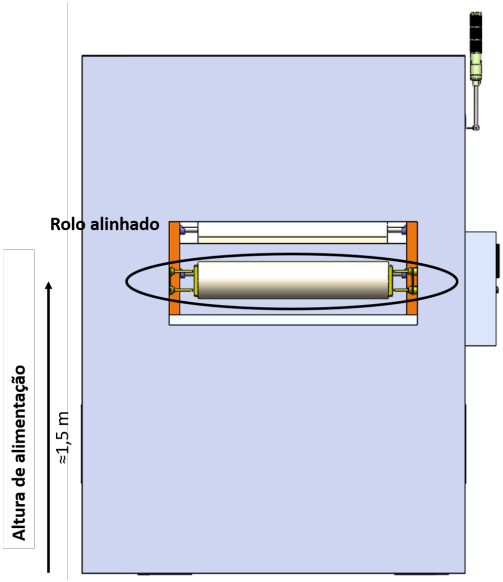


Figura 4.10: Altura a que fica localizado o rolo para alimentar processo de corte

Em cada uma das chapas laterais da cobertura do armazém, existe uma janela que permite ao operador alcançar o tensionador de correntes que se encontra dentro da cobertura, esta tarefa não será recorrente.

4.2.3 Alinhador lateral

Este componente tem como objetivo de ajustar em translação o rolo que se encontra na posição de alimentação, até uma posição de referência. Uma vez que o rolo está livre de deslizar sobre um tubo, este pode ser arrastado e, posteriormente, fixo na posição que servirá de referência de alinhamento com a secção de corte.

Os tubos onde são colocados os rolos de material isolante têm 1080 mm de comprimento e o sistema a implementar deve ser capaz de movimentar cada um dos rolos, independentemente da sua posição inicial, ao longo do tubo de suporte.

Para tal, foi concebido um sistema que inclui quatro atuadores pneumáticos convencionais, dois de cada lado do armazém, que farão movimentos alternados de modo a posicionar o material.

Cada par de atuadores está ligado a uma barra metálica que é responsável por empurrar o material. Uma vez que os rolos de isolante têm no máximo 56 kg, estes atuadores têm de ser capazes de empurrar o rolo, independentemente da sua massa.

Tal sistema é apresentado na Figura 4.11.

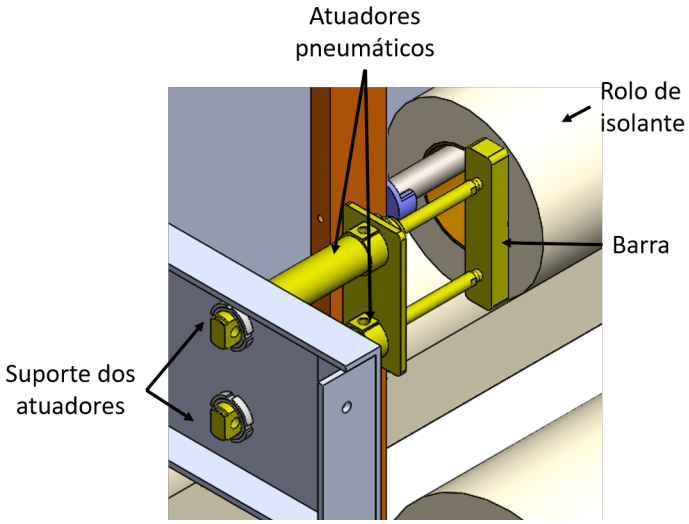


Figura 4.11: Alinhador lateral de rolos de isolante

Os rolos de material presentes no armazém podem possuir 3 diferentes larguras, 910, 915 e 920 mm. De um dos lados, o rolo será sempre arrastado até ao mesmo ponto, servindo de batente fixo ajustado com o alinhamento com a secção de corte. Para tal os atuadores responsáveis por este movimento terão de realizar o mesmo curso para qualquer um dos rolos. Já os atuadores que arrastam o rolo do lado oposto efetuam o seu movimento "em força" até serem detidos quando o rolo estiver a bater no batente fixo.

As características dos atuadores que equipam as duas barras do alinhador são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Características do atuador pneumático do posicionador do armazém

Características		
Solução construtiva	Atuador convencional, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	32	[mm]
Curso	80 / 100	[mm]
Força de avanço	483	[N]
Velocidade de referência	80	[mm/s]
Tempo de ciclo	dependente da largura de rolo	

Sabendo que os rolos não têm todos a mesma largura, será usado um dos lados como referência, e como tal uma das barras avançará sempre até ao mesmo ponto, enquanto que a outra irá empurrar o material até que este encoste na barra de referência. De modo a que o material não fique preso aquando da alimentação do restante processo, a barra que não serve de referência não estará sempre encostada ao rolo, deixando-o assim livre para ser desenrolado. No entanto, de modo a garantir o correto alinhamento do rolo ao longo de toda a produção de tiras, esta barra estará encarregue por, ao longo do processo, ir reposicionando o isolante.

Na sequência apresentada na Figura 4.12, exibe-se o posicionamento de um rolo, no caso em que este está mais próximo da barra de referência.

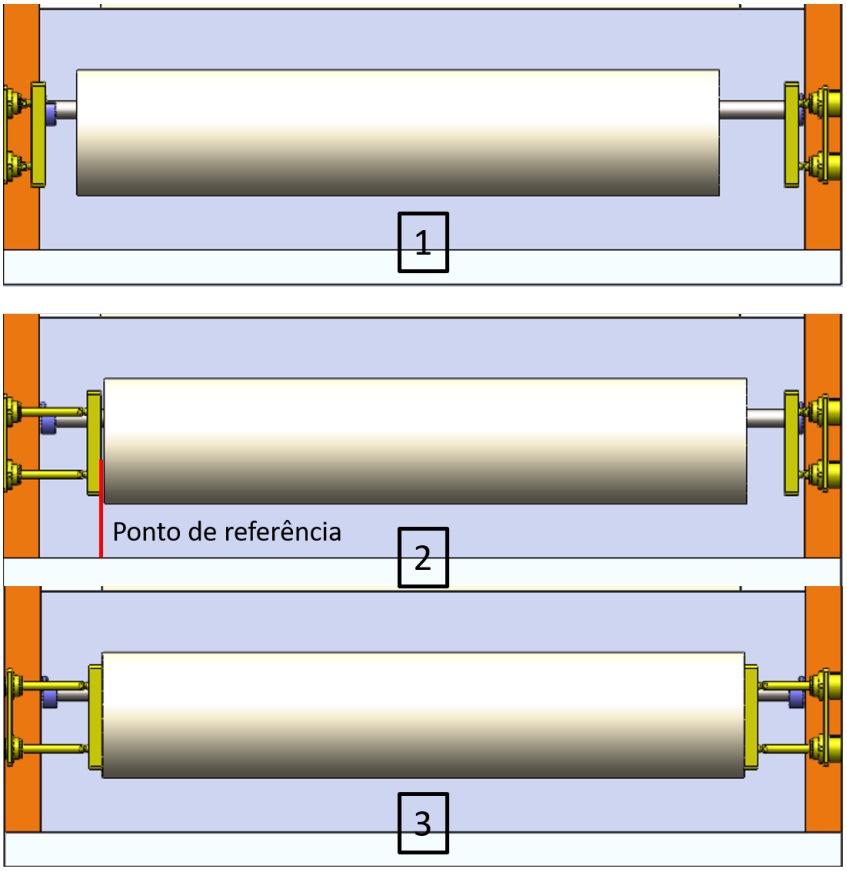


Figura 4.12: Movimento do alinhador lateral de rolos de isolante

O ponto de referência servirá como orientação para o restante processo e como tal servirá de "ponto zero" para o corte das tiras. No entanto, como foi visto no Capítulo 2, nem todos os rolos de isolante são fornecidos com toda a sua largura útil. No caso dos isolantes de classe de isolamento F, têm de ser retirados 10 mm de cada extremidade do rolo. Foi então pressuposto que estes podiam passar por um processo anterior, onde seriam laminados e, como tal retirados 10 mm de uma das suas extremidades, passando essa a servir de referência. Permite-se assim ter sempre um ponto de orientação para as restantes tarefas da máquina.

4.3 Secção de corte

A secção de corte é dividida em quatro partes, sendo estas destacadas de seguida.

- Transporte do material;
- Corte em tiras;
- Vincos;
- Suporte estrutural.

Na Figura 4.13 é apresentado o modelo gráfico da secção de corte.

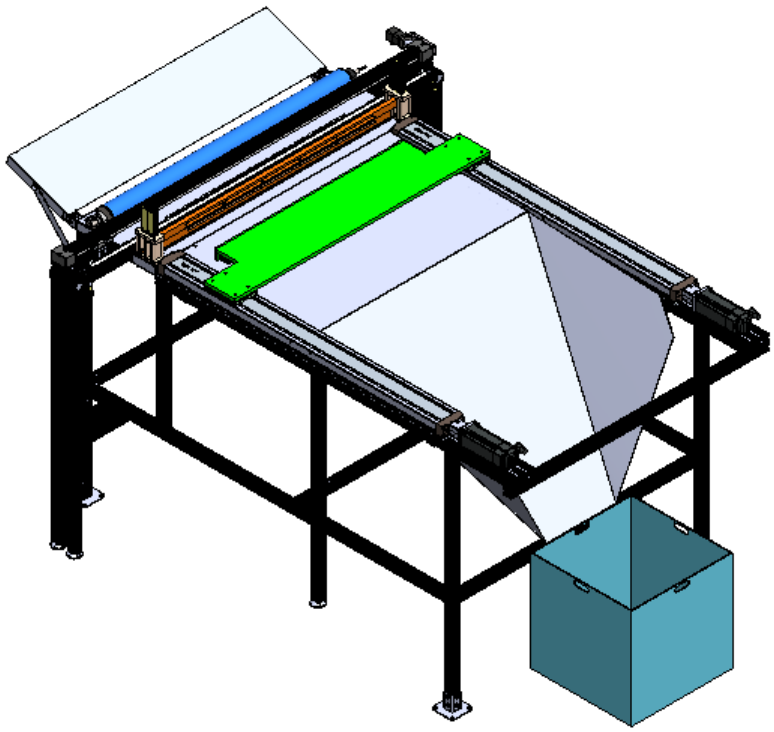


Figura 4.13: Modelação da secção de corte

De modo a auxiliar o esclarecimento do posicionamento de cada componente a ser descrito segue, na Figura 4.14, uma representação da vista lateral desta secção onde estão identificados os principais componentes que foram já mencionados no Capítulo 3.

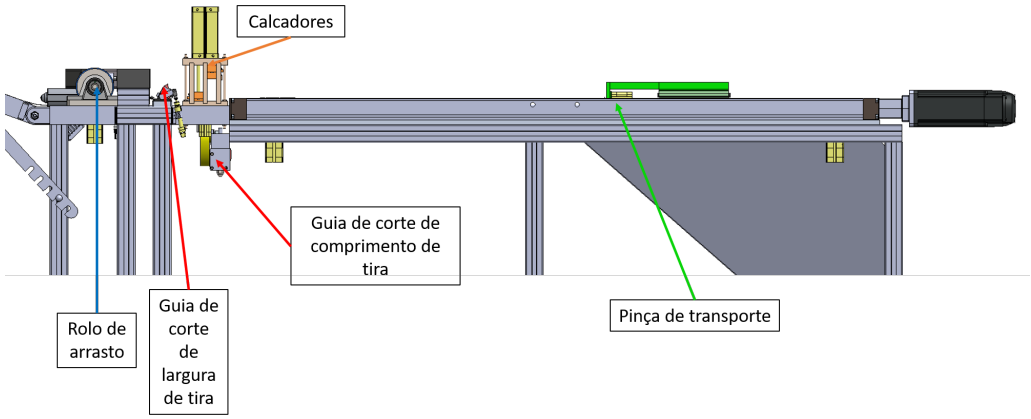


Figura 4.14: Identificação dos principais componentes da secção de corte

4.3.1 Transporte do material

Nesta parte da secção serão apresentados os componentes que, ao longo do processo automático, são responsáveis pelo transporte do material. São estes componentes o rolo de arrasto e a pinça. Como mencionado no Capítulo 3, no *setup* da máquina, o transporte inicial é realizado manualmente.

Rolo de arrasto

Este componente é constituído por um tubo que, através da sua rotação, transmite movimento ao material. Após a fase inicial de transporte manual do material até ao rolo este passa a ficar responsável por puxar o material a partir do armazém até atingir a zona do primeiro corte de material isolante. Tal elemento da máquina é apresentado na Figura 4.15.



Figura 4.15: Modelação do rolo de arrasto

O tubo que forma o rolo está revestido de uma película de polímero, como nylon, que permita uma melhor aderência ao material isolante, não permitindo escorregamento como no caso de contacto direto com o metal polido, que constitui o tubo, e o material isolante.

De modo a permitir a introdução do material na base, o rolo de arrasto deve ser elevado cerca de 5 mm de modo a ser possível ao operador introduzir o material facilmente pela sua superfície inferior. Para tal, os componentes que constituem o rolo são todos elevados com o auxílio de

dois atuadores pneumáticos, acoplados às chumaceiras de apoio ao veio com movimento. As características desses atuadores são apresentadas na Tabela 4.4.

Estes foram dimensionados com um curso pequeno (5 mm), uma vez que é também o necessário, e uma força suficiente para elevar todos os componentes, incluindo o rolo e as suas extremidades, o motor e as duas chumaceiras. Estes elementos representam uma massa de cerca de 15 kg.

Tabela 4.4: Características de cada atuador pneumático do rolo de arrasto

Características		
Solução construtiva	Atuador compacto, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do atuador	20	[mm]
Curso	5	[mm]
Força de avanço	188	[N]
Velocidade de referência	5	[mm/s]
Tempo de ciclo	1	[s]

Na Figura 4.16 é mostrado, com mais detalhe, o motor que movimenta o rolo de arrasto.

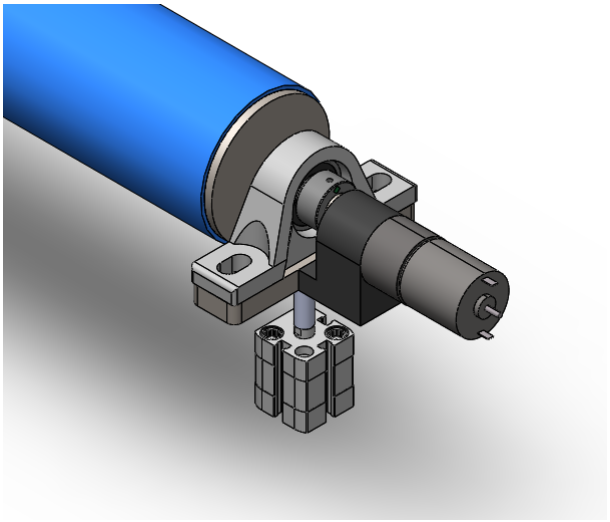


Figura 4.16: Motor do rolo de arrasto

Para o movimento do rolo foi necessário selecionar um motor e um redutor que permitissem a este elemento realizar o movimento de rotação com as condições necessárias.

Sabendo que este elemento do projeto deve ser capaz de transladar o material para o alimentar, ou então auxiliando a devolução do material ao armazém. Esta última tarefa deve ser sempre

realizada em simultâneo por um operador que enrola o material de volta no rolo de onde este foi fornecido.

Uma vez que o rolo funciona de forma compatível com o movimento da pinça, este vai ter uma velocidade ligeiramente inferior, de modo a garantir que o material se mantenha permanentemente esticado, diminuindo assim erros no posicionamento do material. A velocidade com que a pinça arrasta o material será constante, sendo a do rolo também constante. Uma vez que a velocidade é inferior à da pinça, o rolo não pode oferecer muita resistência ao movimento desta, de modo a não causar problemas no seu motor e redutor.

Quanto ao binário que deve estar presente à saída do redutor, é necessário ter em atenção que o rolo de arrasto está a puxar o material do armazém, tendo de ter força necessária para o desenrolar o rolo de material isolante, que pode ser fornecido com até 56 kg de massa.

A velocidade pretendida para o transporte de material é de 100 mm/s, o que equivale a uma velocidade à saída do redutor de 22,5 rpm.

Na Tabela 4.5 são apresentadas algumas das características que definem o conjunto do motor e redutor selecionado.

Tabela 4.5: Características do conjunto do motor e redutor usados no rolo de arrasto

Características		
Solução construtiva	motor DC com engrenagem	
Tipo de energia	elétrica	
Razão de redução	75	
Velocidade nominal	47	[rpm]
Binário nominal	0,7	[Nm]

Pinça

Este será o componente responsável por transportar o material e ainda definir o comprimento de corte de tira. Encontra-se representado na Figura 4.17. A este elemento são requeridos movimentos que impõem uma certa precisão e cuidado. De modo a realizar todas as tarefas essenciais, este componente tem de ser capaz de agarrar o material e transportá-lo, sendo que a primeira tarefa ainda se divide em dois movimentos. De realçar que a pinça só é capaz de agarrar material que já se encontra vincado.

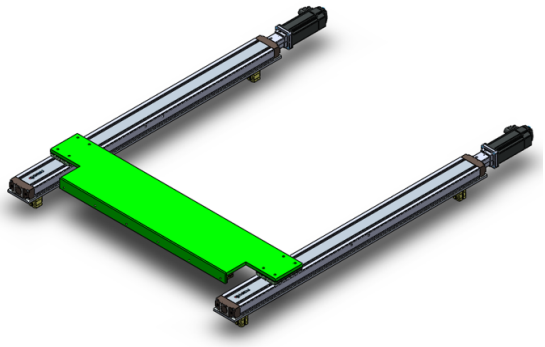


Figura 4.17: Modelação da pinça

A pinça é constituída por um sistema de 3 barras de alumínio movimentadas em conjunto sobre dois eixos eletromecânicos. Cada um destes eixos, por sua vez, está sobre uma barra de alumínio que lhe serve de suporte estrutural.

As três barras representadas na Figura 4.17, em tons verdes, funcionam como uma garra. Com o movimento de uma das barras, esta aproxima-se ou afasta-se das outras duas, podendo assim agarrar o material já vincado. Na Figura 4.18, é possível observar as duas posições que este conjunto de barras possui.

Relativamente a este grupo de barras, a de maiores dimensões faz a ligação entra as carruagens dos eixos e suporta as outras duas barras. Uma delas está imóvel e a outra é que se movimenta, de modo a realizar o aperto.

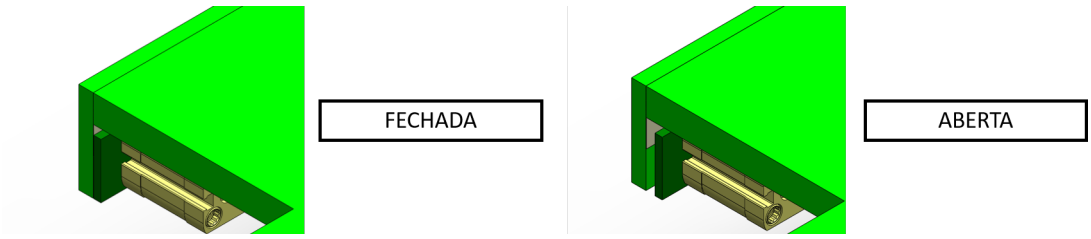


Figura 4.18: Representação da garra da pinça nas suas posições de aberta e fechada

Quanto às duas barras entre as quais o material fica apertado, serão referenciadas como barra móvel (verde escuro) e barra fixa (verde claro). O movimento entre estas é efetuado por 6 atuadores pneumáticos compactos, que têm as suas características descritas na Tabela 4.6. Estes atuadores têm a sua haste fixa à barra de alumínio fixa e o seu corpo aparafusado à barra móvel. Com o avanço e recuo sincronizado dos atuadores, é possível ter o movimento de aperto do vinco do material entre as duas barras.

Tabela 4.6: Características de cada atuador pneumático para aperto da pinça

Características		
Solução construtiva	Atuador compacto, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	12	[mm]
Curso	10	[mm]
Força de avanço	68	[N]
Velocidade de referência	5	[mm/s]
Tempo de ciclo	1	[s]
Número de atuadores	6	

No dimensionamento das barras e seleção dos atuadores, foi tido em conta o espaço que deve ficar livre para segurar o material vincado e em tiras, uma vez que entre dois vincos realizados apenas existem 10 mm. Foi ainda adicionada uma tira de material na parte superior da barra imóvel que fica em contacto com a barra móvel, de forma a não haver espaço livre entre estas que pudesse causar problemas na hora de agarrar material. O número elevado de atuadores colocados não está relacionado com a força requerida, mas sim para garantir um aperto uniforme ao longo dos 950 mm de comprimento das barras.

Em relação a este conjunto de barras, mais especificamente à maior das três que liga os eixos, esta tem um formato que permite o acesso à zona de realização dos vincos comprometer o formato dos calcadores, permitindo assim ter os eixos posicionados após essa zona.

Como referido existem ainda mais duas barras de alumínio, estando estas colocadas sob cada um dos eixos eletromecânicos. Estas servem de apoio estrutural aos eixos e ainda permitem a fixação das hastes dos atuadores pneumáticos que realizam a elevação de todo o sistema. A subida de todo o conjunto é realizada de forma a não danificar os vincos realizados. Na Figura 4.19 é possível observar uma vista de baixo deste elemento onde estão representados os 4 atuadores pneumáticos responsáveis por elevar o sistema.

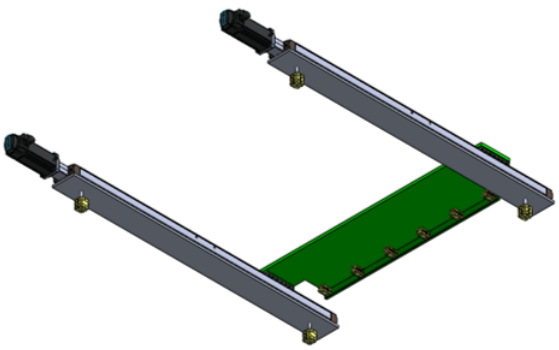


Figura 4.19: Vista de baixo da pinça

Uma vez que as barras responsáveis pelo aperto não estão em contacto com a base e que os vincos têm um comprimento de 5 mm, foram escolhidos atuadores com apenas 5 mm de curso que fossem capazes de elevar todos os componentes da pinça. Estes elementos representam uma massa de aproximadamente 56 kg. Permitindo que haja, mesmo assim, deslocamento das barras do sistema da garra. As características de cada um desses atuadores são apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Características de cada atuador pneumático para elevação da pinça

Características		
Solução construtiva	Atuador compacto, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	25	[mm]
Curso	5	[mm]
Força de avanço	295	[N]
Velocidade de referência	5	[mm/s]
Tempo de ciclo	1	[s]

No que diz respeito aos eixos eletromecânicos, pela necessidade de binário e de precisão, foi optado pelo uso de eixos lineares de fuso, acionados por servomotores.

Cada eixo é equipado com uma carruagem que tem o seu movimento determinado pelo fuso. É em cada uma dessas carruagens que são fixas as barras responsáveis pelo aperto dos vincos descritas anteriormente nesta subsecção. De modo a permitir o corte de tiras em todo o seu intervalo de comprimentos, as guias onde se movimentam as carruagens possuem um curso de 1200 mm. Na Tabela 4.8, são apresentadas algumas das características destes eixos.

Tabela 4.8: Características de cada um dos eixos eletromecânicos da pinça

Características		
Solução construtiva	servomotor + fuso	
Tipo de energia	elétrica	
Passo do fuso	10	[mm]
Curso	1200	[mm]
Velocidade de referência	100	[mm/s]
Tempo de ciclo	dependente do comprimento de tira	

Quando a pinça está a puxar o material, este já se encontra em cima da mesa e já está a ser puxado do armazém para a mesa pelo rolo de arrasto. Os eixos servocomandados devem puxar o material já na mesa, tendo em conta a resistência que o rolo de arrasto impõe, uma vez que o rolo de arrasto terá uma velocidade marginalmente inferior à da pinça, fazendo com que o material fique corretamente esticado. Há ainda a necessidade de considerar a força que as lâminas de corte longitudinal causam no material que está a ser puxado.

Como tal, sendo necessário puxar o material cumprindo tais requisitos, optou-se pelo uso de servomotores acoplados a redutores. Deste modo é possível puxar o material conseguindo a precisão desejada para o corte de comprimento de tira.

Na Figura 4.20 é representada a colocação dos servomotores nas guias do componente nesta parte descrito.

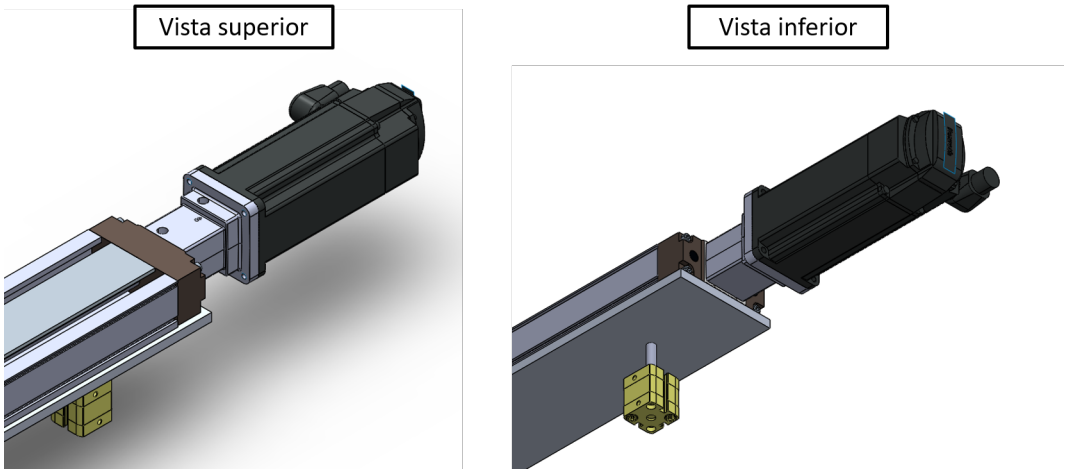


Figura 4.20: Colocação dos servomotores nas guias da pinça

4.3.2 Corte em tiras

Quanto ao corte do material isolante em tiras, este realiza-se em duas fases: o corte transversal e o corte longitudinal.

Corte longitudinal

Este corte é responsável pela definição de largura de tiras e, tal como visto no capítulo anterior, é realizado por lâminas que são fixas a carruagens que são deslocados sobre uma guia.

Este componente é constituído por uma guia para transporte de carruagens miniatura, estando cada uma das carruagens equipada com os acessórios necessários para poder realizar as suas funções.

Tendo em conta os limites de dimensões apresentados na secção 2.2, sejam estes relativamente aos rolos de material isolante ou às tiras a produzir, podem ser definidos limites quanto ao número de tiras que podem ser produzidas ao longo da largura útil do rolo de material isolante.

A largura útil dos rolos varia entre 900 e 920 mm e, uma vez que a largura de tira varia entre 30 e 300 mm, o número de tiras que pode ser cortado ao longo de todo o material isolante, varia entre 3 e 30.

Este número impõe a necessidade de uma quantidade significativa de carruagens porta lâminas. Supondo que os rolos de classe de isolamento F são laminados numa das suas extremidades de modo a retirar os 10 mm de material que deve ser desperdiçado, existirá sempre um extremo do rolo que apresenta as condições para produzir tiras. Desta maneira, não é necessária uma lâmina que tenha de definir a posição de referência para o início de corte de largura de tira.

Com a informação exposta acima pode concluir-se que são necessárias 30 carruagens porta lâminas, sendo que apenas serão posicionados sobre o material a quantidade necessária para o corte conforme a largura efetivamente desejada. As restantes carruagens deverão estar em repouso, o que significa que, no caso de estarem a ser cortadas tiras com 300 mm, existem 27 carruagens em repouso, o que requer a existência de espaço extra para que estas não estejam sobre o material.

Ainda relacionado com os limites dimensionais das tiras a produzir está o comprimento de cada carruagem porta lâminas. Uma vez que o limite inferior de largura de uma tira é de 30 mm, o comprimento de cada carruagem tem de ser inferior a tal valor. Como tal foram escolhidas guias miniatura que serão movimentadas numa guia compatível. Na Figura 4.21 é apresentado o exemplo de uma dessas carruagens, assim como a secção da guia que suporta as 30 carruagens.

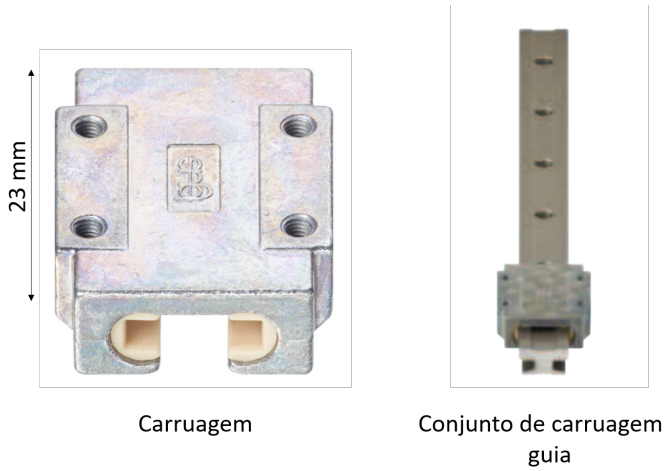


Figura 4.21: Exemplo de carruagem e guia a usar para corte longitudinal [10]

As carruagens selecionadas têm um comprimento de 23 mm e uma largura de 17 mm, sendo compatíveis com a aplicação desejada. Cada um destes elementos é, então, equipado com três componentes, que passam a ser listados.

- 1 lâmina, responsável pelo corte do material;
- 1 suporte para posicionamento por arrasto, permitindo que cada carruagem seja movimentada pelo posicionador;
- 1 atuador pneumático, encarregue da fixação da carruagem em cada posição correta.

Antes de descrever cada um destes elementos, são apresentadas duas vistas de uma carruagem já equipada na Figura 4.22.

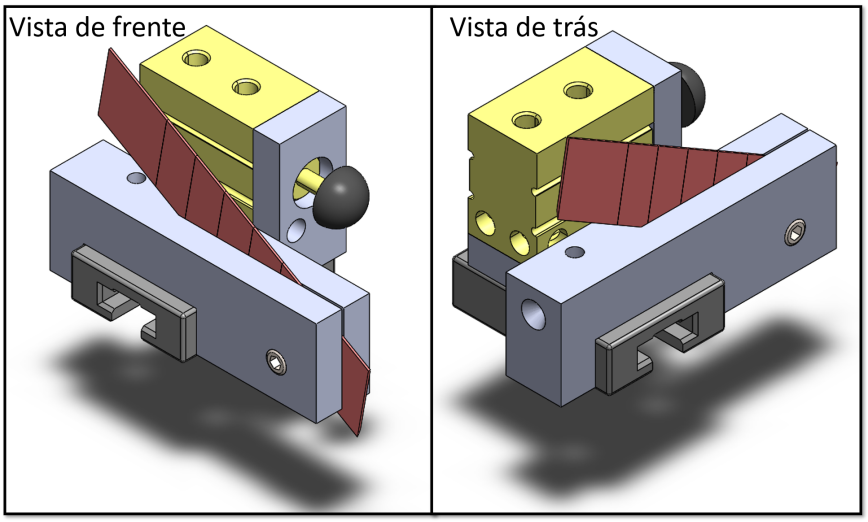


Figura 4.22: Carruagem porta lâminas

Quanto à lâmina, foi optado o uso de uma lâmina de uso comum, mais propriamente de uso em x-ato, que apresenta um custo aceitável e sendo composta por várias secções, pode ser, manualmente, retirada a parte gasta e reposicionada a lâmina. Foi escolhida uma com largura de lâmina de 9 mm.

O suporte de cada uma destas lâminas tem um rasgo onde estas são encaixadas e, posteriormente, fixas através de perno sextavado, facilitando assim o posicionamento da cada lâmina e a sua alteração caso necessário. A colocação de cada lâmina no seu suporte é feita manualmente, e deve ser realizada de modo que as lâminas não cortem o material na mesma linha transversal. Deste modo o esforço requerido para a inserção inicial das lâminas no material vem diminuído. Para tal, o avanço das lâminas pode ser alterado ligeiramente de uma para outra.

Este suporte tem ainda um furo em forma cónica que permite o acoplamento do posicionador, que é possível observar na vista de trás presente na Figura 4.22.

O atuador pneumático que equipa cada uma das carruagens teve de ser selecionado tendo em conta as suas dimensões, uma vez que tem de ser colocado nas carruagens com dimensões reduzidas. Desta forma, as suas dimensões são a parte limitante na escolha destes atuadores. Idealmente seriam escolhidos atuadores de simples efeito, normalmente avançados. No entanto, para as dimensões pretendidas não foram encontrados tais atuadores.

O atuador escolhido tem as suas características apresentadas na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Características de cada atuador pneumático para fixação da carruagem

Características		
Solução construtiva	Atuador compacto, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	4	[mm]
Curso	4	[mm]
Força de avanço	$\approx 5,3$	[N]
Velocidade de referência	40	[mm/s]
Tempo de ciclo	100	[ms]

Este atuador tem a sua haste equipada com uma ponta semiesférica de borracha que estará em contacto com uma cantoneira que equipa a guia, quando em posição fixa, e estará recuado para possibilitar o arrasto através do posicionador.

A guia, assim como apresentada na Figura 4.21, é ainda colocada sobre uma barra de alumínio de modo a conferir mais resistência, uma vez que apesar da sua pequena secção esta tem um comprimento de 1650 mm. Na Figura 4.23, são identificados alguns dos componentes que fazem parte da guia responsável pelo corte de largura de tira.

O dispositivo de basculamento da guia tem duas posições, sendo estas: a posição de repouso e a posição de corte. Estas posições serão conseguidas através de um movimento de alavanca, dependente de dois atuadores pneumáticos.

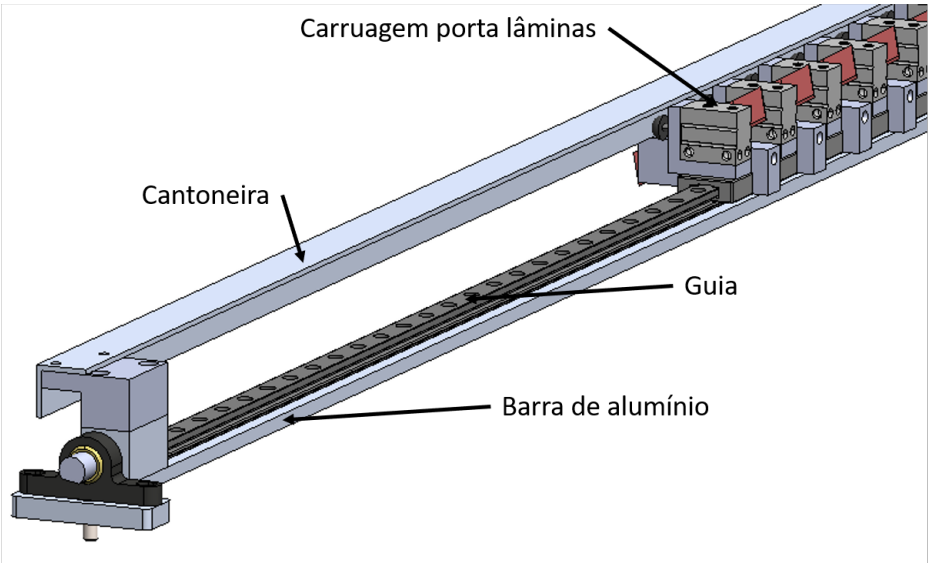


Figura 4.23: Identificação dos componentes na guia de corte longitudinal

Na Figura 4.24 encontra-se representada a guia de corte longitudinal, com todos os seus constituintes. Nesta, as carruagens estão dispostas para cortar tiras com 30 mm de largura, o que é

considerado como um caso pouco comum. Apesar dos atuadores estarem recuados, estes ainda não se encontram na sua posição final, uma vez que nesta figura este componente não se encontra ainda no seu local de fixação à estrutura.

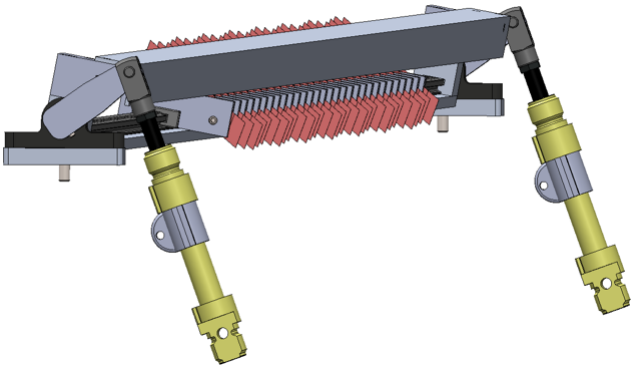


Figura 4.24: Guia de corte longitudinal em posição de corte

Na Figura 4.24, é ainda possível verificar que as lâminas não estão todas elas ao mesmo nível, como descrito acima, influenciando deste modo o ponto de ataque de cada uma delas ao material.

As duas posições da guia, corte ou repouso, são garantidas pelo movimento da alavanca. Para que tal movimento seja praticável são utilizados dois atuadores pneumáticos convencionais que, ligados a um braço através de um olhal fêmea, possibilitam o movimento. O braço, por sua vez, está acoplado ao veio que faz a ligação à guia apresentada na Figura 4.23. De modo a que o movimento do braço seja transmitido a toda a guia, este tem a sua posição, relativamente ao veio, fixa através de um perno sextavado. Desta forma, e estando a guia fixa à estrutura através das chumaceiras por onde passam os veios, é possível ter o movimento de rotação de toda a guia através do avanço e recuo simultâneo dos atuadores pneumáticos.

As características de tais atuadores estão descritas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Características de cada atuador pneumático da alavanca da guia de corte longitudinal

Características		
Solução construtiva	Atuador convencional, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	8	[mm]
Curso	10	[mm]
Força de avanço	30,2	[N]
Velocidade de referência	2,5	[mm/s]
Tempo de ciclo	2	[s]

Como observado na Tabela 4.10, os atuadores escolhidos têm um curso de 10 mm, sendo este o valor mínimo para este tipo de atuador. Mas uma vez que apenas é necessário um curso de

5 mm, e de forma a não haver uma rotação excessiva da guia, o que poderia causar danos no material ou nos componentes, foram adicionados dois tubos, representados a preto na Figura 4.24, que funcionam como batentes limitando o curso dos atuadores.

Os dois atuadores convencionais ficam fixados à estrutura da secção de corte, através de uma braçadeira no corpo do atuador que fica conectada a um olhal, fixo à estrutura.

Na Figura 4.25 são apresentadas quatro imagens, duas para cada uma das posições. Estando já a guia montada na estrutura final.

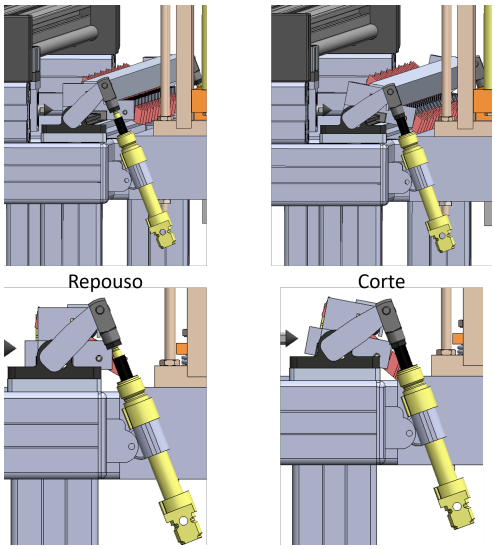


Figura 4.25: Duas posições da guia de corte longitudinal montada na estrutura

Posicionador

As 30 carruagens têm de ser posicionadas conforme a largura de tira a cortar. Para tal é usado um eixo eletromecânico equipado com um atuador pneumático na sua carruagem.



Figura 4.26: Modelação do posicionador de arrasto das carruagens

Solução construtiva

O eixo eletromecânico é um eixo acionado por correia dentada através de um motor passo a passo. Um eixo com 1650 mm de comprimento útil, permitindo o posicionamento de todas as carruagens ao longo da guia onde estas estão alocadas. As características do motor são apresentadas na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Características do motor de acionamento da guia do posicionador de carruagens

Características		
Solução construtiva	motor passo-a-passo	
Tipo de energia	elétrica	
Binário de aperto	0,022	$[Nm]$
Binário de retenção	0,5	$[Nm]$
Ângulo do passo	1,8 $\pm 5\%$	$^\circ$
Momento de inércia do rotor	0,1	$[kgcm^2]$
Carga no veio, axial	7	$[N]$
Carga no veio, radial (20 mm)	20	$[N]$

Na Figura 4.27 é possível ver a montagem do motor assim como a flange que o fixa ao eixo de correia dentada. Quanto à velocidade pretendida para o transporte das carruagens, é definida uma velocidade de 100 mm/s. De referir que as carruagens apenas são reposicionadas quando não está a ser realizado o corte de tiras.

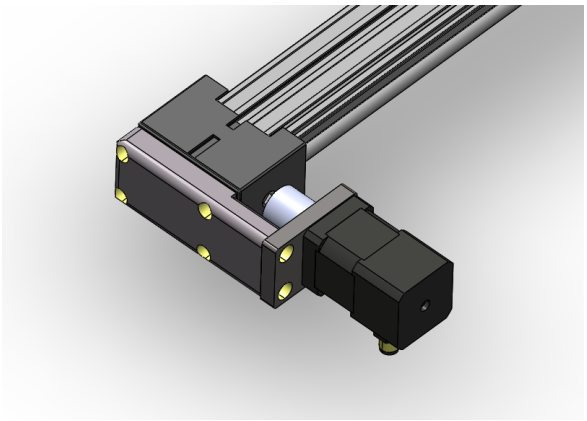


Figura 4.27: Motor passo a passo de acionamento do posicionador de arrasto das carruagens

Quanto ao atuador pneumático que fica colocado na carruagem da guia, este encontra-se na Figura 4.28. É também representada a ponta da haste que foi colocada no atuador, de modo a ser viável o acoplamento às carruagens.

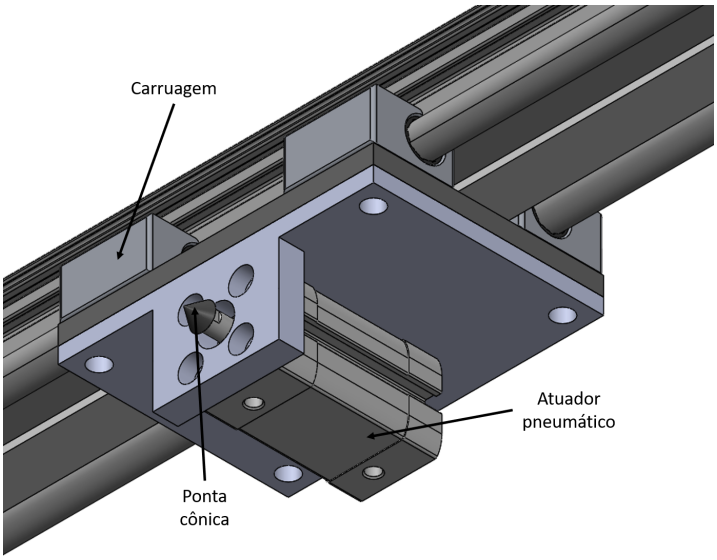


Figura 4.28: Atuador pneumático do posicionador de carruagens

Como visto no início desta subsecção, cada carruagem está equipada com um suporte dotado de um furo em forma cónica. A conexão da ponta de haste com forma cónica a tal furo, permite que o movimento do eixo seja transmitido à carruagem ao atuador acoplada. Podendo arrastar cada uma das carruagens até à sua posição final, isto dependendo da largura de tira a cortar. Assim como já referido, durante o transporte de cada carruagem, o atuador pneumático que a equipa, tem de estar recuado de modo a permitir o movimento. Apenas quando a carruagem é posicionada é que o atuador desta volta a avançar, fixando-a e definindo a sua posição na guia.

Na Tabela 4.12, são apresentadas as características do atuador pneumático que equipa o posicionador. Este atuador tem de ter um curso que permita alcançar as carruagens, quando avançado, mas que não interfira com estas quando recuado.

Tabela 4.12: Características do atuador pneumático do posicionador de carruagens

Características		
Solução construtiva	Atuador compacto, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	12	[mm]
Curso	15	[mm]
Força de avanço	68	[N]
Velocidade de referência	10	[mm/s]
Tempo de ciclo	1	[s]

Corte transversal

O corte transversal é o corte feito ao longo de toda a largura do rolo de isolante e é, normalmente, realizado sobre o material já em tiras. Como tal, este corte deve ser feito rapidamente de modo a não danificar o material. Para tal efeito é proposto o uso de um disco de corte a funcionar a elevada velocidade, que terá a sua rotação dependente de um motor de corrente contínua. Na Figura 4.29 é apresentada a modelação deste componente. As características do motor são expressas na Tabela 4.13.

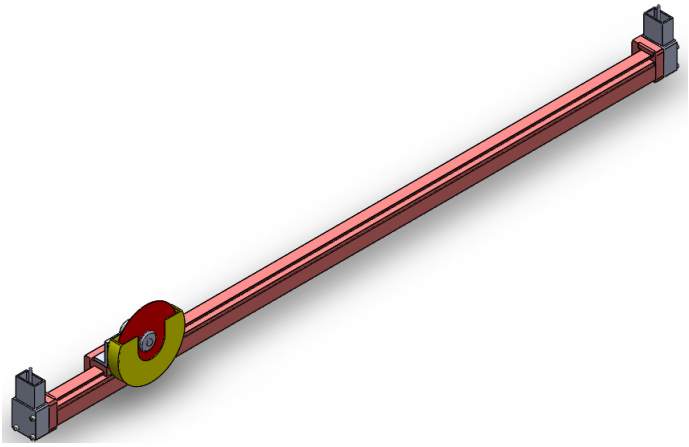


Figura 4.29: Modelação da guia de corte transversal

Tabela 4.13: Características do motor de acionamento do disco de corte

Características		
Solução construtiva	motor DC sem escovas	
Tipo de energia	elétrica	
Potência nominal	15	[W]
Velocidade	3000	[rpm]
Binário nominal	18,8	[mNm]

O disco tem então de se movimentar ao longo de toda a largura de rolo e ainda deve conter uma posição de repouso. Para tal foi selecionado um atuador linear pneumático sem haste, que terá na sua carruagem o motor que impõe a rotação do disco. Para cada corte transversal o atuador faz o movimento de avanço e recuo, deixando assim o disco numa posição que não interfere com os restantes elementos, nomeadamente a pinça. Na Figura 4.30 são apresentados em pormenor os componentes deste componente. Como é possível verificar foi adicionado ao disco uma proteção, de modo a que este não constitua perigo para os utilizadores. Esta proteção permite que o disco possa ser alterado, caso necessário.

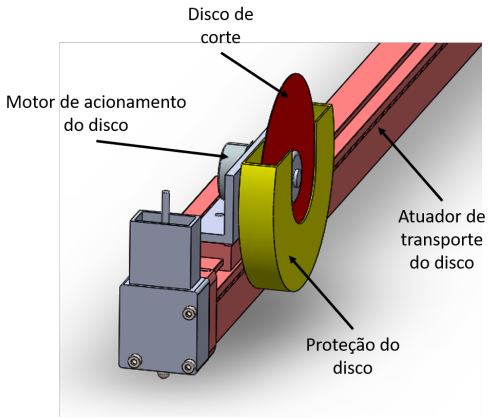


Figura 4.30: Identificação de alguns dos componentes da guia de corte transversal

Quanto à colocação do disco no atuador linear, esta começa pela fixação do motor à carruagem do atuador. O motor, por sua vez, transmite movimento ao disco, que pelas suas dimensões e necessidades de funcionamento está colocado ao lado deste atuador. No entanto, está o mais próximo possível do atuador de modo a reduzir o momento torsor transmitido ao longo do eixo que faz a ligação ao motor.

O atuador linear pneumático sem haste foi escolhido, uma vez que permite alcançar a velocidade pretendida para o movimento e ainda é uma boa alternativa ao uso de um eixo eletromecânico, pela sua compacidade. Uma vez que o movimento necessário não é muito preciso, o uso deste atuador, permite um movimento rápido sem grandes problemas no que diz respeito à aceleração e desaceleração no início e final de cada percurso realizado. Na Tabela 4.14 são apresentados alguns dos atributos do atuador selecionado.

Tabela 4.14: Características do atuador linear do corte transversal

Características		
Solução construtiva	Atuador sem haste de duplo efeito com amortecimento de fim de curso	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do atuador	18	[mm]
Curso	1000	[mm]
Força de avanço	153	[N]
Velocidade de referência	500	[mm/s]
Tempo de ciclo	4	[s]

Estando o disco a uma velocidade de rotação elevada podendo representar perigo para o utilizador e ainda pelas suas dimensões, este foi colocado por baixo da base.

4.3.3 Realização dos vincos

Para a realização dos vincos são propostos dois componentes: os cunhos e os calcadores. Estes últimos para além de intervirem nesta tarefa, são também responsáveis por fixar o material para a execução do corte transversal. Estes dois componentes serão nesta secção descritos.

Calcadores

Este elemento de fixação, é constituído por 2 barras de aço, cada uma destas movida por 2 atuadores pneumáticos, tendo assim movimentos independentes uma da outra. Cada uma das barras tem cerca de 8 kg. As características de tais atuadores são apresentadas na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Características de cada atuador pneumático dos calcadores

Características		
Solução construtiva	Atuador compacto, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	16	[mm]
Curso	80	[mm]
Força de avanço	90	[N]
Velocidade de referência	30	[mm/s]
Tempo de ciclo	2	[s]

Na Figura 4.31 estão representados os calcadores, estando na configuração apresentada apenas uma das barras elevadas.

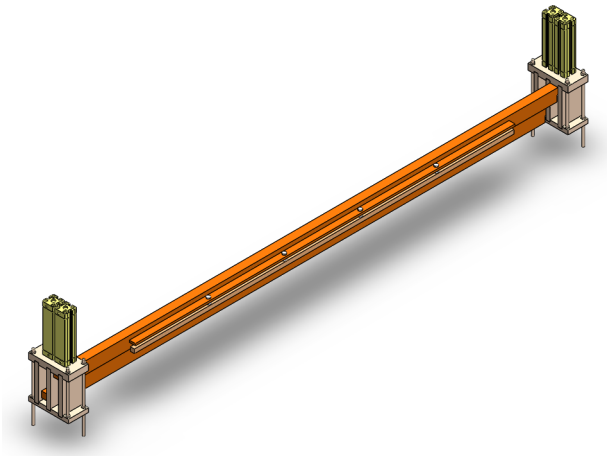


Figura 4.31: Modelação dos calcadores

De modo a auxiliar a translação das barras e fixar os atuadores responsáveis por esta, foram projetadas guias onde se movimentam as barras principais e ainda onde estão fixos os atuadores

pneumáticos. Essas guias estão representadas na Figura 4.32, onde é ainda possível ver a cabeça do parafuso que faz a fixação da barra à haste do atuador.

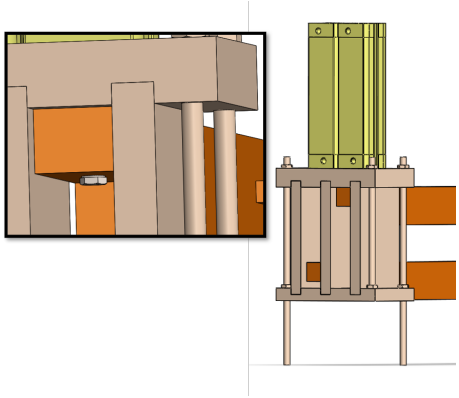


Figura 4.32: Representação da guia dos calcadores

Foi adicionada uma barra a cada uma das barras de maiores dimensões, que garante que o material isolante não seja levantado com o movimento de elevação do calcador. Tal mecanismo encontra-se apresentado na Figura 4.33.

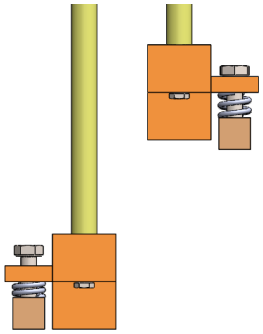


Figura 4.33: Barra extra dos calcadores

É possível ver as duas posições limite das barras principais, e com estas também as das barras extra. A posição da direita, representa a situação de calcar o material isolante, já a da esquerda representa a posição recolhida do calcador.

Este elemento adicionado, quando o calcador está elevado, está abaixo do nível do calcador, mas quando a barra principal está em posição de fixação este fica ao mesmo nível, sendo as quatro molas comprimidas. Uma vez que os parafusos que juntam as duas barras apenas estão roscados na barra extra e estão livres na principal, permitem tais movimentos.

Quando o calcador inicia o movimento de subida, apenas a barra principal começa a subir, ficando a extra ainda sobre o material, evitando que este levante com este movimento. Apenas

quando a cabeça do parafuso embate na parte da barra principal desenhada para o suporte deste complemento é que esta começa também a subir, deixando assim de estar em contacto com o isolante.

Quanto às dimensões deste componente, estas foram escolhidas de modo a que entre as duas barras fosse possível passar a barra dos cunhos. Como tal tem de haver um espaço de 10 mm entre estas. Já o comprimento das barras está dependente do tamanho da pinça, mais especificamente da parte responsável pelo aperto do material. Um outro fator que a pinça afeta, é o curso que os atuadores têm, uma vez que a pinça tem de ser capaz de ir buscar o material à zona da realização dos vincos, os calcadores têm de subir de forma a deixar a pinça passar. Por esse motivo, foi selecionado o uso de atuadores com 80 mm de curso, sendo os vincos apenas de 5 mm. Tal curso permite elevar os calcadores de modo a que a pinça possa colher as tiras, sem interferência.

Cunhos

Este elemento é aquele que realiza os vincos no material, depois de o material já estar fixo (pelos calcadores) e cortado transversalmente (corte).

Para tal dispõe de uma barra de 3 kg, que é elevada por dois atuadores pneumáticos, que têm as características descritas na Tabela 4.16. Tal estrutura é ainda apresentada na Figura 4.34.

A barra que incorpora este componente tem um rasgo que permite a passagem do disco de corte que translada pelo seu interior. Tendo esta barra um comprimento de 1,2 m e sendo a soma do comprimento de dois vincos apenas 10 mm, a largura da secção que tem de subir acima do nível da base onde passa o material, será de 9 mm.

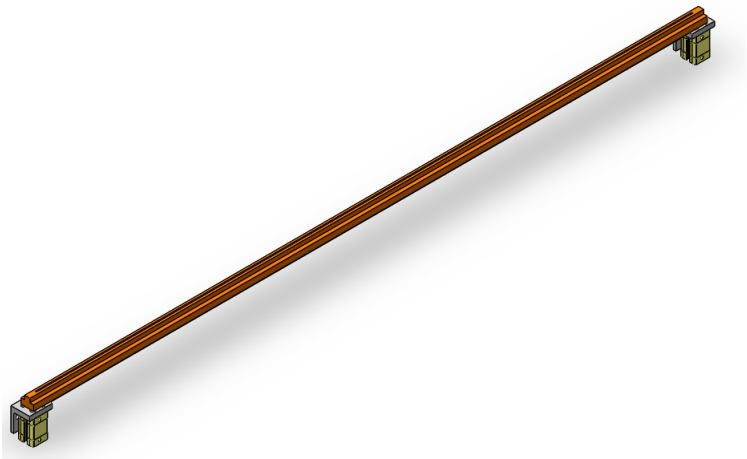


Figura 4.34: Modelação dos cunhos

Tabela 4.16: Características de cada atuador pneumático dos cunhos

Características		
Solução construtiva	Atuador compacto, assimétrico de duplo efeito	
Tipo de energia	pneumática	
Diâmetro do êmbolo	12	[mm]
Curso	8	[mm]
Força de avanço	51	[N]
Velocidade de referência	5	[mm/s]
Tempo de ciclo	1	[s]

A Figura 4.35 mostra a barra que faz parte deste componente e a sua secção. Estando assim a elevação desta delimitada não só pelo curso dos atuadores a esta acoplados, mas também pela altura da secção com 9 mm de largura que realiza os vincos.

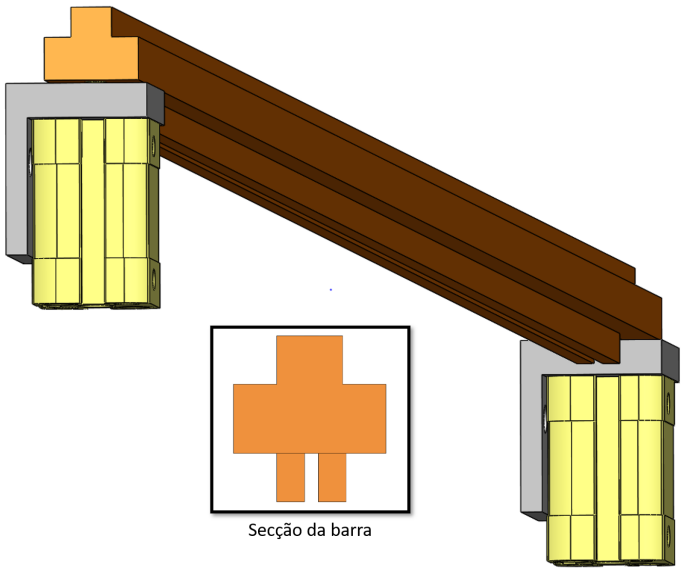


Figura 4.35: Barra dos cunhos

Este elemento apenas tem o movimento de elevação através dos atuadores pneumáticos, que o fazem subir 5 mm quando é pretendido fazer vincos. Os cunhos estão elevados quando não está a ser cortado material longitudinalmente e quando a pinça desce para agarrar material por um dos vincos.

4.3.4 Suporte estrutural

A estrutura de base serve para suportar todos os componentes já apresentados. Esta estrutura é, em grande parte, formada por perfis de alumínio com secção de 40 x 40 mm, salvo exceções, e

coberta por chapa de 2 mm de espessura. Na Figura 4.36 é apresentada a sua modelação.

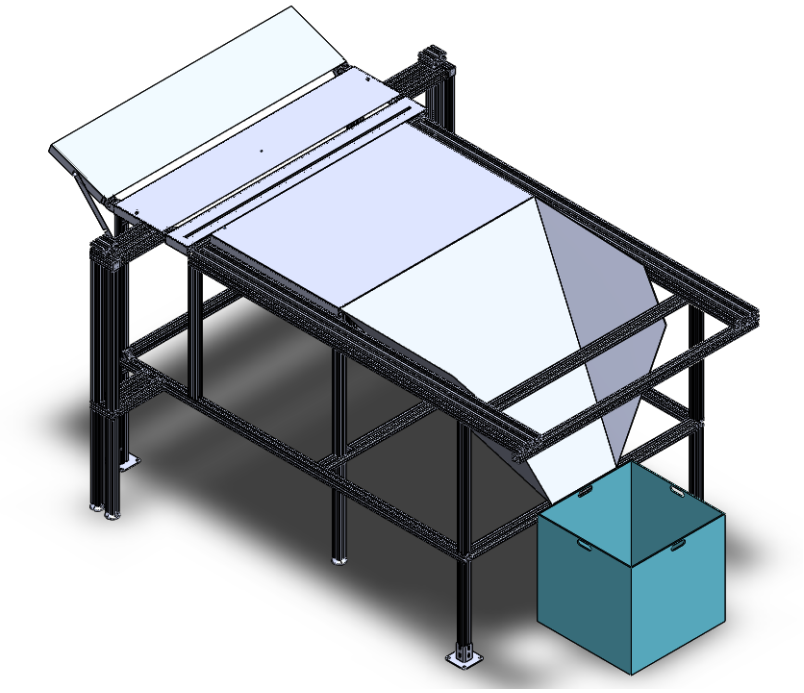


Figura 4.36: Suporte estrutural completo

No entanto, existem outras funções que a base dos elementos responsáveis por transformar o material em tiras apresenta. De modo a expor todas as funções, será apresentada a estrutura de uma extremidade à outra, apresentando as suas peculiaridades, servindo estas para suportar os componentes já descritos ou acrescentar funcionalidades à máquina.

Começando do lado esquerdo e percorrendo toda a máquina até à extremidade direita, isto relativamente à Figura 4.36, são de seguida exibidas as funcionalidades deste constituinte do projeto.

Inicialmente, é necessário fazer a ligação entre o armazém automático e o processo de corte. Para tal, de modo a facilitar a introdução de material, existe uma superfície em chapa de inclinação ajustável para permitir o deslizamento do material. Esta chapa pode também ser facilmente rebatida criando um espaço livre entre o armazém e a secção de corte para permitir ao operador facilidade de acesso para alguma operação de manutenção. Tal chapa em rampa é apresentada na Figura 4.37.

O ajuste da inclinação está restrito às posições possibilitadas pelos rasgos presentes nos braços que permitem a fixação ao pino. Tais elementos estão identificados na Figura 4.37.

Na zona da estrutura relacionada com o suporte do posicionador de carruagens, a máquina apresenta uma maior largura. Na Figura 4.37 é possível observar tal zona e o acréscimo estrutural em perfis de alumínio.

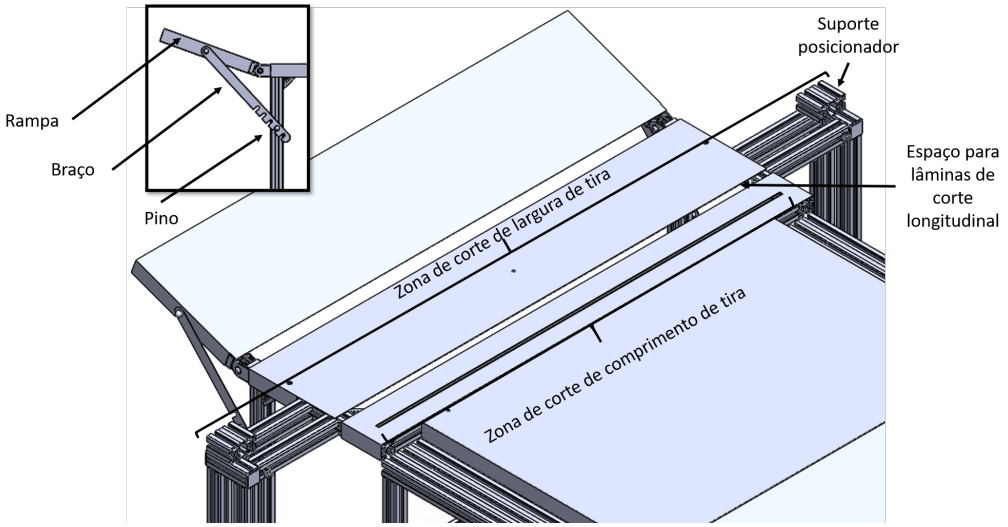


Figura 4.37: Rampa de deslize do material

A fim de permitir que as lâminas atravessem o material em corte longitudinal existe um rasgo na superfície da mesa de deslize do material.

Ainda no que diz respeito ao corte longitudinal, os atuadores pneumáticos responsáveis pelo movimento da alavanca que permite as duas posições diferentes da guia (corte e repouso) ficam fixos à estrutura através de olhais, como representado na Figura 4.38.

Passando agora à zona de corte de comprimento de tira, que é comum ao local da realização dos vincos, existe uma abertura que permite a passagem do disco de corte e a subida dos cunhos. Essa zona é ainda apoiada por dois perfis de alumínio por baixo da chapa de modo a suportar os calcadores e a força que estes exercem sobre a superfície e ainda conceder local para fixação dos atuadores que garantem a elevação dos cunhos.

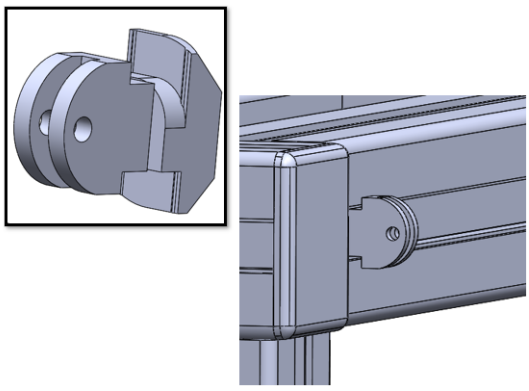


Figura 4.38: Suporte para atuadores pneumáticos do sistema de alavanca do corte longitudinal

A pinça fica posicionada de modo a fazer o movimento de translação o mais perto do nível

da base possível. Para tal efeito foram adicionados perfis de alumínio de maior secção (40 x 120) a uma altura mais baixa relativamente aos de suporte da chapa sob o material isolante. Tal representação é mostrada na Figura 4.39, onde é também exibida a rampa de recolha de material.

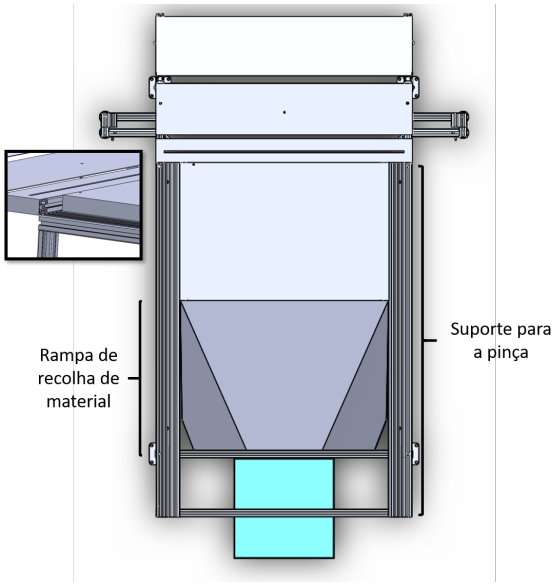


Figura 4.39: Localização do suporte para pinça e rampa de recolha das tiras

A rampa final, onde é libertado o material já em tiras, afunila de modo a agrupar as tiras que acabam depois por ser depositadas no recipiente de recolha. Tais componentes são apresentados na Figura 4.40.

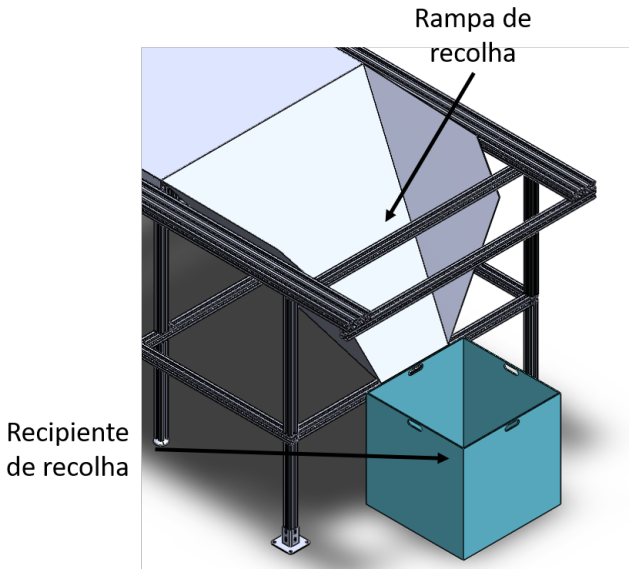


Figura 4.40: Representação da rampa e recipiente de recolha

Na Figura 4.41 é apresentada uma vista em corte da base estrutural, onde são destacados os locais onde existem perfis de alumínio dispostos na transversal, representados através de quadrados vermelhos. Tal representação serve de auxílio à informação apresentada acima.

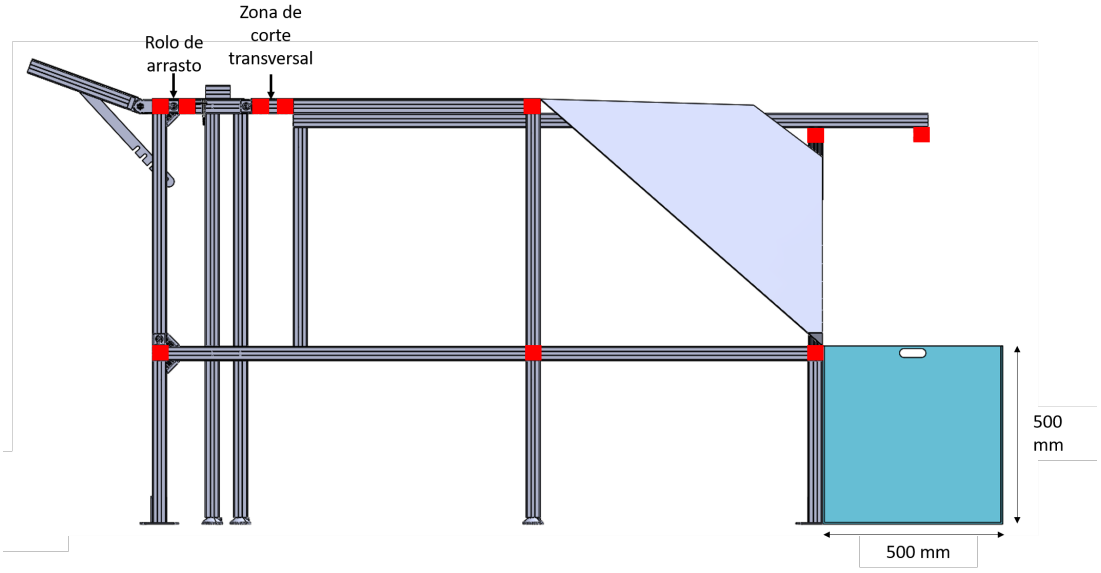


Figura 4.41: Vista em corte da estrutura com a identificação de alguns elementos

Ainda no que diz respeito à estrutura, foram adicionados dois suportes e furos para a colocação de sensores indutivos que serão responsáveis por transmitir informação relevante ao sistema de controlo. Estes serão mencionados no Capítulo 5.

4.4 Conclusões

Sendo este capítulo uma parte complementar do anterior, é apresentada a solução construtiva proposta.

Com a solução construtiva agora apresentada, é demonstrada a viabilidade da solução de princípio que foi apresentada no Capítulo 3, agora suportada pelo detalhe técnico relevante.

Foi alcançada uma solução possível no que diz respeito à sua composição e movimentos, sendo esta completada pela automatização e consequente comando que permitem a realização dos movimentos e tarefas neste capítulo descritas.

Capítulo 5

Solução de comando

No presente capítulo é apresentada a proposta de solução de comando para a máquina concebida, que possibilita a realização das várias tarefas até à obtenção das tiras de isolante.

Inicialmente, são descritos os movimentos e os requisitos a estes ligados para a realização de cada tarefa, que estão suportados no esquema do circuito pneumático, que é apresentado no Anexo A.

Posteriormente, é descrita a sequência de fabrico completa até obter um lote de tiras para uma certa OP, passando ainda por algumas situações particulares. Esta sequência é apoiada nos *Grafcets* comportamentais, que são apresentados no Anexo B.

Foi ainda realizada uma análise temporal do funcionamento da máquina, de modo a dar suporte a alguns dos pressupostos que foram apresentados sobre o funcionamento da máquina.

No final deste capítulo é feita uma apreciação global da solução encontrada, onde são apresentadas algumas conclusões.

5.1 Caracterização dos movimentos

Nesta secção são apresentados os movimentos necessários a serem realizados desde a alimentação do material até à obtenção de um lote específico de tiras. Estes movimentos estão divididos nas duas secções que constituem a máquina, isto é, a secção de armazenamento e a secção de corte. Em cada um destes grupos de movimentos são realçadas as características de desempenho pretendidas, assim como os requisitos necessários para a sua realização.

Para os movimentos que são realizados por atuadores pneumáticos, foram considerados estranguladores de caudal unidirecionais, colocados em *meter-out*, de modo a permitir um ajuste

fino quer da velocidade de avanço quer do recuo de cada um dos atuadores.

Para os movimentos que são realizados por atuadores elétricos de velocidade fixa, foram considerados arrancadores suaves de movimento ("*soft-starters*") de modo a permitir arranques e paragens suaves de cada movimento.

5.1.1 Secção de armazenamento

Nesta secção da máquina, os movimentos automáticos relacionam-se com o posicionamento do rolo necessário no local de alimentação. Assim sendo, esses movimentos são:

- Inserção de rolos no armazém;
- Posicionamento de rolo de isolante no local de alimentação;
- Alinhamento lateral do rolo de material isolante.

5.1.1.1 Inserção de rolos no armazém

Os rolos de material isolante podem ser inseridos no armazém quer de forma manual quer com o auxílio de um empilhador.

Os rolos a inserir podem:

- estarem intactos, ou já previamente utilizados;
- serem de um tipo de isolante, ou de outro;
- serem colocados numa ou em outra das 3 posições que estão disponíveis para alimentação.

Por outro lado, os rolos podem também ser removidos do armazém, e nessa circunstância eles podem ser removidos quer no estado de "sem material" ou "com material", libertando assim uma das posições disponíveis no armazém.

É, assim, necessária uma gestão rigorosa dos rolos existentes no armazém, o que tem de ser feito com suporte informático.

Sempre que um certo comprimento de material é retirado de um rolo, para a produção de tiras de material, a quantidade de material existente no rolo tem que ser contabilizada, para se saber se a quantidade remanescente é suficiente para uma OP.

Como visto no Capítulo 4, a estrutura do armazém está delimitada na área de introdução de novos rolos, ficando 3 posições de introdução de material, mesmo quando o processo de corte está

a ser alimentado. Na Figura 5.1 são identificadas as 3 posições de alimentação existentes na área destinada a esta função.

Atualmente, existem 5 tipos de isolante na *WEG EURO* para fabricar os isolantes fundo de ranhura e estes são identificados pela sua espessura. É então necessário associar a cada posição que esteja a ser alimentada, que tipo de isolante está a ser introduzido ou se está a ser retirado de lá um rolo.

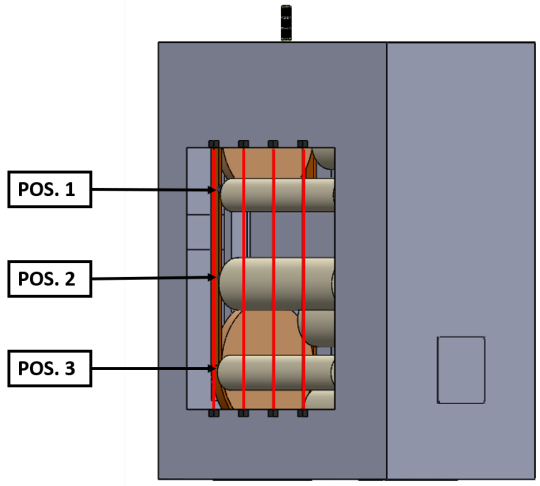


Figura 5.1: Janela de inserção de rolos no armazém automático

Para permitir a informatização deste processo será usada uma HMI (*Human Machine Interface*) onde a introdução de informação será feita pelo operador com total suporte.

Para evitar que um movimento vertical dos rolos seja possível enquanto esté a decorrer a alimentação de rolos, foram considerados 4 detetores optoeletrónicos na janela de acesso, como mostrado na Figura 5.1, pelas linhas a vermelho.

5.1.1.2 Posicionamento de rolo de isolante em local de alimentação

No armazém existe um local associado à alimentação da secção de corte, o rolo de material isolante a ser usado deve ser imobilizado na janela da cobertura que dá acesso à secção de corte, numa posição que possa ser alinhado pelo alinhador lateral.

Para a definição do local de paragem do rolo, foram colocados 2 detetores que indicam a proximidade do rolo à posição de alimentação.

Quando é necessário trocar o rolo que alimenta a secção de corte, o autómato sabendo a posição relativa das correntes onde se encontra tal rolo de material, dá ordem para que o motorredutor seja acionado no sentido correto para, no menor percurso, levar o rolo até à janela de alimentação.

Para saber com mais precisão o local em que deve parar, cada posição das correntes que tem um rolo tem, do lado de fora, um disco que, ao ser detetado por um dos detetores D1 e D2, dá ordem para a paragem do motor. Tal dispositivo é representado na Figura 5.2.

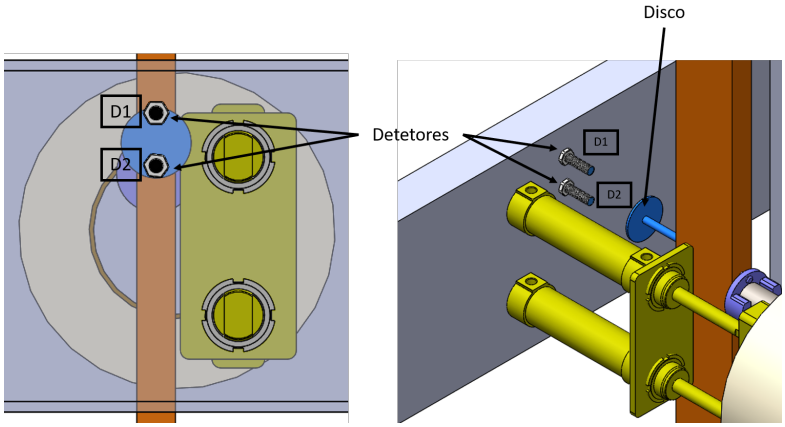


Figura 5.2: Localização dos detetores para posicionamento de rolo

A velocidade do movimento vertical dos rolos será de 100 mm/s. A fim de controlar as rampas de aceleração e desaceleração, o arranque do motor será realizado usando um *soft-starter*, evitando assim movimentos abruptos.

O motor tendo dois sentidos de rotação permite posicionar o rolo percorrendo o percurso mais curto.

5.1.1.3 Alinhamento lateral do rolo de material isolante

O alinhamento lateral dos rolos de material isolante é realizado por dois movimentos de arrasto do rolo ao longo do tubo que o suporta. Foram descritos no Capítulo 4 os componentes necessários para os realizar, é agora mostrado como é possível realizar tais ações. Para tal será usado um excerto dos esquemas pneumáticos presentes no Anexo A.

O alinhamento é dividido em dois, o movimento 1 e o movimento 2, que são representados na Figura 5.3.

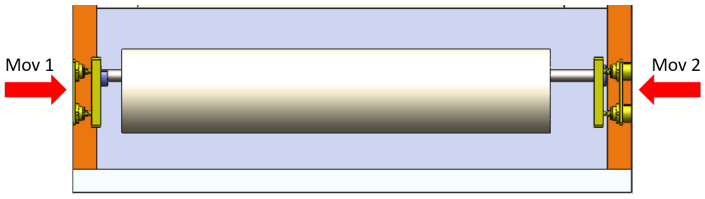


Figura 5.3: Movimentos de alinhamento do rolo de material isolante

O movimento 1 é o que define a referência de alimentação da secção de corte e é independente do rolo a alinhar. A posição de referência é conseguida pelo avanço dos dois atuadores até ao fim do seu curso.

Já o movimento 2 é feito com controlo em força, uma vez que nem todos os rolos de material isolante têm a mesma largura. Para tal, foi usada uma válvula reguladora de pressão, que permite regular a pressão de forma a que os atuadores apenas consigam empurrar o rolo sem alterar a força do 1º movimento.

Foi adicionado um pressostato, que funciona como detetor de fim de curso, quando a pressão atinge o valor definido, significa que o rolo já encostou na barra responsável pelo movimento 1.

Para o alinhamento de um rolo, primeiro realiza-se o movimento 1, e os atuadores responsáveis por esse movimento ficam avançados enquanto o material estiver a ser alimentado para a secção de corte. Após isso, realiza-se o movimento 2.

Os atuadores responsáveis pelo movimento 2, não se mantêm avançados durante toda a alimentação. Se tal acontecesse, poderia dificultar o desenrolar do material isolante. De forma a não prender o material, mas mantê-lo sempre alinhado, o movimento 2 ocorre quando a secção de corte não estiver a puxar o material. E a barra deste movimento avança, para se certificar que o rolo está encostado, mas recua logo de seguida.

Na Figura 5.4 estão representados os comandos que regem estes movimentos.

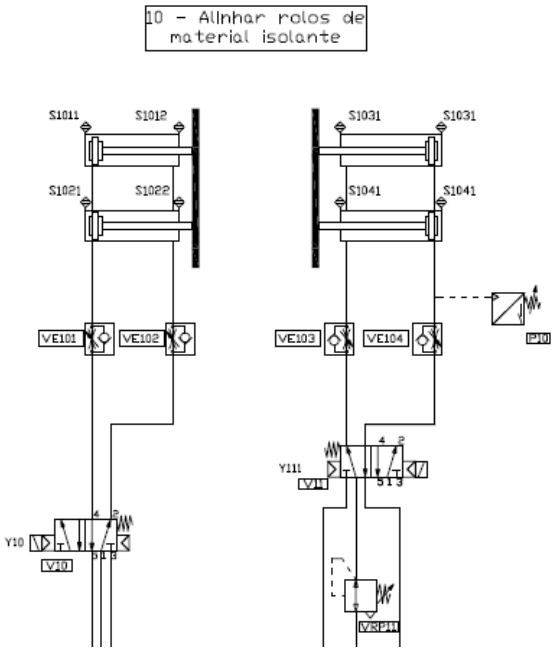


Figura 5.4: Esquema pneumático do movimento de alinhamento lateral de rolos de isolante

5.1.2 Secção de corte

Esta secção está dividida pelas suas funções principais que, por sua vez, são divididas pelos componentes descritos no Capítulo 4. A secção de corte é onde se faz a transformação do material isolante, nas tiras fundo de ranhura.

5.1.2.1 Transporte de material

Rolo de arrasto

Este componente tem dois movimentos principais:

- elevação do rolo;
- rotação do rolo, nos dois sentidos.

Quanto à elevação do rolo, esta é realizada por dois atuadores pneumáticos, atuados em simultâneo. Para saber a posição do rolo em cada momento, foram adicionados dois detetores magnéticos, um em cada cilindro, na sua posição de recuo. Assim, quando o rolo é elevado estes detetores deixam de ser atuados, o que indica que o rolo está na posição de avanço. Apenas é usado um detetor por atuador, pois o curso sendo de 5 mm, justifica a utilização de dois.

Estes atuadores têm o seu comando demonstrado no esquema da Figura 5.5.

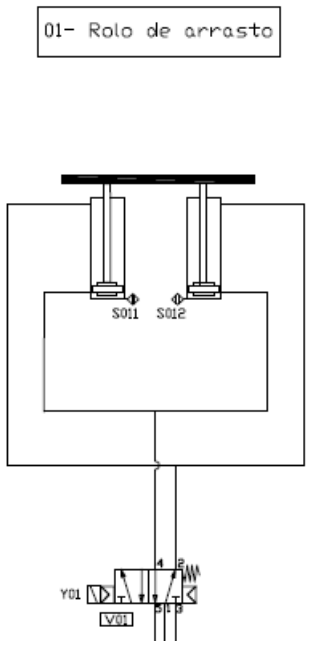


Figura 5.5: Esquema pneumático do movimento de elevação do rolo de arrasto

Este movimento é ativado manualmente pelo operador quando está a introduzir o material nesta secção. Para tal, existe uma botoneira monoestável, que só comanda o movimento de elevação do rolo quando a máquina não está em modo automático.

Os atuadores devem estar normalmente recuados e só quando for necessário devem avançar, levantando o rolo sob supervisão do comando automático, para evitar erros.

No que diz respeito ao movimento de rotação, o conjunto do motor e redutor, deve ter dois sentidos de rotação e velocidade constante. Este componente terá dois modos de funcionamento, sendo estes:

- manual, quando está a ser introduzido material isolante até à zona de corte transversal e enquanto a pinça não está a trabalhar;
- automático, quando o material já se encontra a ser puxado pela pinça.

O movimento de rotação do rolo só deve ser iniciado após este estar pousado sobre o material e apenas quando houver ordem para tal.

No funcionamento em modo manual, o operador apenas pode alimentar material para a secção de corte, não podendo recolher o material para o armazém.

O rolo funcionará de modo a que o material avance a uma velocidade de 100 mm/s.

De forma a saber se existe material a ser introduzido e se este está a ser introduzido corretamente, foram colocados 4 detetores fotoelétricos, 2 antes do rolo e outros 2 após, que indicam a presença de material nesses locais.

Para além de indicarem se o material está a ser introduzido corretamente, alinhado segundo a referência, estes detetores auxiliam no processo de alimentação da secção de corte e no retorno do material até ao armazém, ou apenas até ao rolo, no caso de se trocar apenas a largura de corte.

Na Figura 5.6 estão representados, com círculos vermelhos, os 4 detetores.

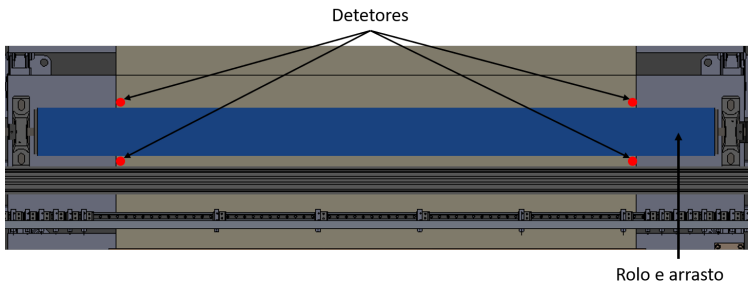


Figura 5.6: Colocação dos detetores no início da secção de corte

Pinça

O transporte do material realizado pela pinça compreende três movimentos. Sendo estes:

- translação vertical da pinça;
- aperto do material pelo vinco;
- transporte do material.

A pinça está equipada com 4 atuadores pneumáticos, responsáveis pela elevação do seu sistema completo. O movimento que estes atuadores exercem está exemplificado na Figura 5.7, apesar de apenas estar presente um desses atuadores, estes estão distribuídos pela estrutura.

Na Figura 5.7 o material já se encontra vincado de forma a ser compreensível este movimento, mas a realização dos vincos será apresentada mais à frente neste capítulo. O movimento de translação vertical é realizado para todos os componentes da pinça.

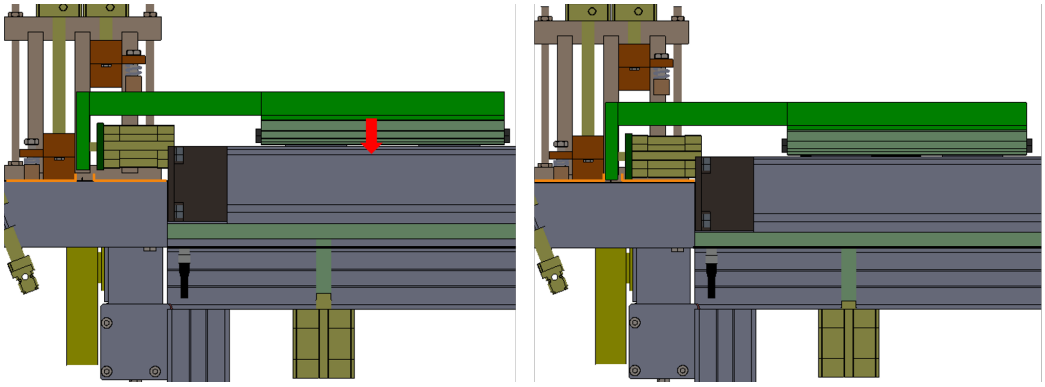


Figura 5.7: Movimento de elevação da pinça

Este movimento de translação vertical é realizado antes do movimento de aperto da garra, uma vez que só com a execução deste é possível agarrar o material isolante.

O curso dos atuadores que asseguram esta ação é reduzido, sendo este o mínimo concretizável, de modo a não causar instabilidade no sistema quando há movimento por parte dos eixos responsáveis pelo transporte. Cada um dos atuadores pneumáticos tem na sua posição de recuo um detetor de fim de curso, que permite saber se o sistema está em baixo ou, no caso de nenhum dos 4 detetores estar atuado, se o sistema está elevado.

Na Figura 5.8 é mostrado o comando pneumático para este movimento.

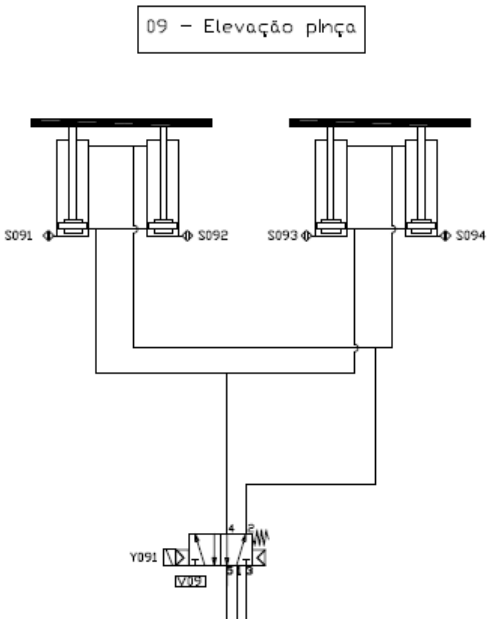


Figura 5.8: Esquema pneumático do movimento de translação vertical da pinça

O movimento de aperto é realizado entre duas barras, sendo uma fixa e outra móvel, e deslocada por 6 atuadores pneumáticos, de modo a permitir uma boa distribuição do esforço ao longo da barra que tem mais de 900mm.

Quanto ao avanço dos atuadores, o curso percorrido para abrir a garra é sempre igual e o atuador foi escolhido de modo a não ser possível abrir a garra mais do que é requerido. Esta limitação surge uma vez que o espaço entre os dois vincos realizados é de apenas 10 mm. Apesar de só ser necessário agarrar o material pelo 1º vinco no caso do 1º corte de material, é necessário não estragar o 2º vinco.

Portanto é necessário ter em atenção o espaço que a garra ocupa quando está a agarrar o 1º vinco, para não chocar com o calcador e não danificar o 2º vinco.

Na Figura 5.9 é representada a realização do movimento de aperto da pinça.

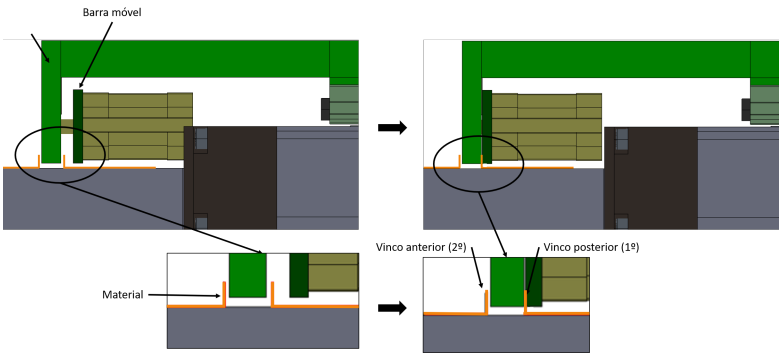


Figura 5.9: Movimento da garra da pinça

O esquema apresentado na Figura 5.10, apresenta o comando pneumático para este movimento.

O transporte do material é executado pelo movimento de translação horizontal que os eixos eletromecânicos realizam. Como referido no Capítulo 4, a precisão deste movimento é muito importante, pois define o comprimento de tira a ser cortado.

O movimento é acionado por dois eixos eletromecânicos lineares, colocados paralelamente e com movimentos simultâneos e sincronizados. Estes eixos são movidos por servomotores, cada um acoplado a um redutor que, transmitindo movimento a fusos de esferas, convertem o movimento de rotação em movimento linear das carruagens das guias.

Na Figura 5.11 está representado o esquema do sistema de controlo a utilizar para garantir o posicionamento.

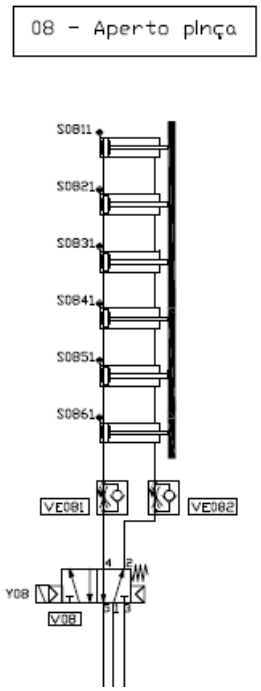


Figura 5.10: Esquema pneumático do movimento de aperto da pinça

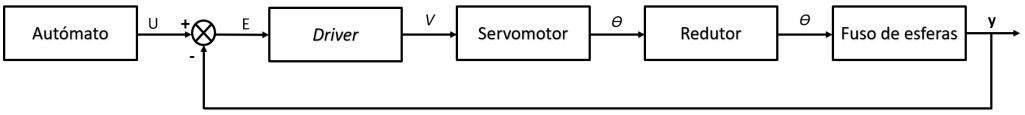


Figura 5.11: Esquema do sistema de controlo do transporte de material pela pinça

É usado um sistema em malha fechada pela necessidade de rigor que esta aplicação acarreta, pois este sistema é o único responsável pela definição do comprimento de tira.

Este movimento não tem um número de repetições constante ao longo de todos os ciclos de produção, uma vez que está dependente de vários fatores, como:

- largura de tira;
- quantidade de tiras a produzir;
- alteração do rolo de material que alimenta o processo;
- alteração da largura de tira a obter.

Os fatores acima apresentados, fazem aumentar o número de movimentos de translação da pinça. Quanto aos últimos dois, estes estão relacionados com a mudança de parâmetros e, portanto, impõem a necessidade de mais movimentos quando está a ser feita a preparação para início de corte de tiras de uma nova OP.

A translação da pinça está sujeita a uma utilização contínua, uma vez que apenas está parada no momento de realização do corte transversal e dos vincos, assim como na fase de preparação (*setup*) da máquina.

No que diz respeito à sequência de movimentos da pinça, estes seguem a seguinte ordem:

1. subida do sistema completo, para permitir que a garra passe por cima do vinco, realizado por atuadores pneumáticos;
2. translação horizontal até zona de corte transversal, até que a garra esteja posicionada sobre o vinco, realizada pelos dois eixos eletromecânicos;
3. descida do sistema completo, ficando a garra alinhada com o material do vinco e pronta para o aperto. No entanto, como o material vincado, logo que seja retirado o cunho pode ter alguma recuperação de posição, então este movimento deve ser feito em simultâneo com o movimento de descida do cunho, assegurando assim um encaixe perfeito do vinco relativamente à garra;
4. aperto do material pela garra;
5. translação horizontal até à posição definida para o comprimento a cortar;
6. translação horizontal até à rampa de recolha de material;
7. libertação do material pela garra.

Com a repetição destes movimentos, conforme cada caso, obtêm-se as tiras de um lote, isto no que diz respeito ao transporte por parte da pinça.

5.1.2.2 Corte em tiras

Corte longitudinal

O corte longitudinal é realizado por uma guia que contém 30 lâminas. Essas lâminas são espaçadas conforme a largura de tira que se pretende obter. Esta guia tem duas posições, repouso e corte.

O sistema responsável por definir as posições da guia, funciona como uma alavanca e é realizado por dois atuadores pneumáticos convencionais.

Estes atuadores encontram-se:

- avançados, quando a guia com as carruagens porta lâminas está em repouso;
- recuados, quando em corte.

Uma vez que é importante saber a posição do atuador em cada momento, que se traduz no estado da guia, em corte ou em repouso, foram colocados detetores de posição nos fins de curso dos atuadores.

O esquema pneumático relativo ao movimento de alavanca é apresentado na Figura 5.12.

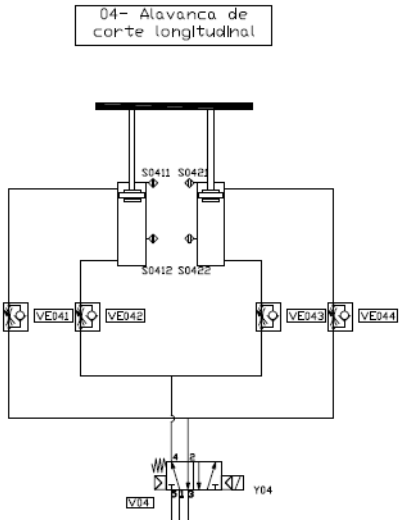


Figura 5.12: Esquema pneumático do movimento de alavanca da guia de corte longitudinal

As 30 carruagens que equipam a guia, têm de manter a sua posição a menos que estejam a ser transportadas. Para tal, cada carruagem tem um atuador pneumático, que se encontra:

- avançado, quando a carruagem se encontra imobilizada numa posição;
- recuado, quando a carruagem está a ser arrastada pelo posicionador.

Não existem, em simultâneo, mais que um desses atuadores recuados, pois o transporte das carruagens é feito individualmente.

Os atuadores usados são de duplo efeito e de dimensões muito reduzidas. Na Figura 5.13 é mostrado o esquema pneumático para o movimento do atuador que está responsável pela fixação das carruagens. Uma vez que o curso é muito reduzido, foi apenas colocado um detetor de fim de curso, na posição mais avançada do atuador.

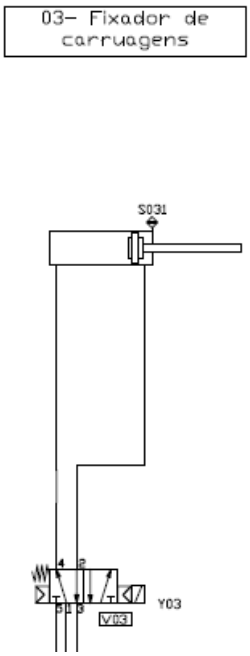


Figura 5.13: Esquema pneumático do movimento de fixação de cada carruagem

As carruagens devem manter a sua localização na guia após esta ser definida pelo posicionador, mesmo quando não está a ser realizado o corte. Quer isto dizer que as carruagens apenas estão livres quando estão a ser reposicionadas. Permitindo ao posicionador conhecer sempre a localização das carruagens.

Posicionamento das carruagens

Este componente apresenta dois movimentos:

- o avanço do atuador de modo a poder realizar o arrasto de uma carruagem;
- o arrasto de cada uma das carruagens ao longo da guia que as suporta.

Tais movimentos são apresentados na Figura 5.14, com o auxílio das setas sobre os elementos do posicionador.

O movimento do atuador pneumático que equipa o carro do eixo de arrasto de posicionamento das carruagens, deve avançar para alcançar a carruagem porta lâminas e manter-se avançado enquanto a arrasta. Quando não está a realizar esta tarefa, o atuador está recuado de modo a não interferir com as carruagens.

Na Figura 5.15, são ilustrados os movimentos que o posicionador executa desde o final do posicionamento de uma das carruagens porta lâminas, até ao final do posicionamento de uma outra carruagem.

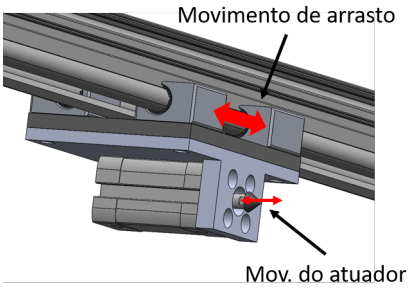


Figura 5.14: Movimentos do posicionador

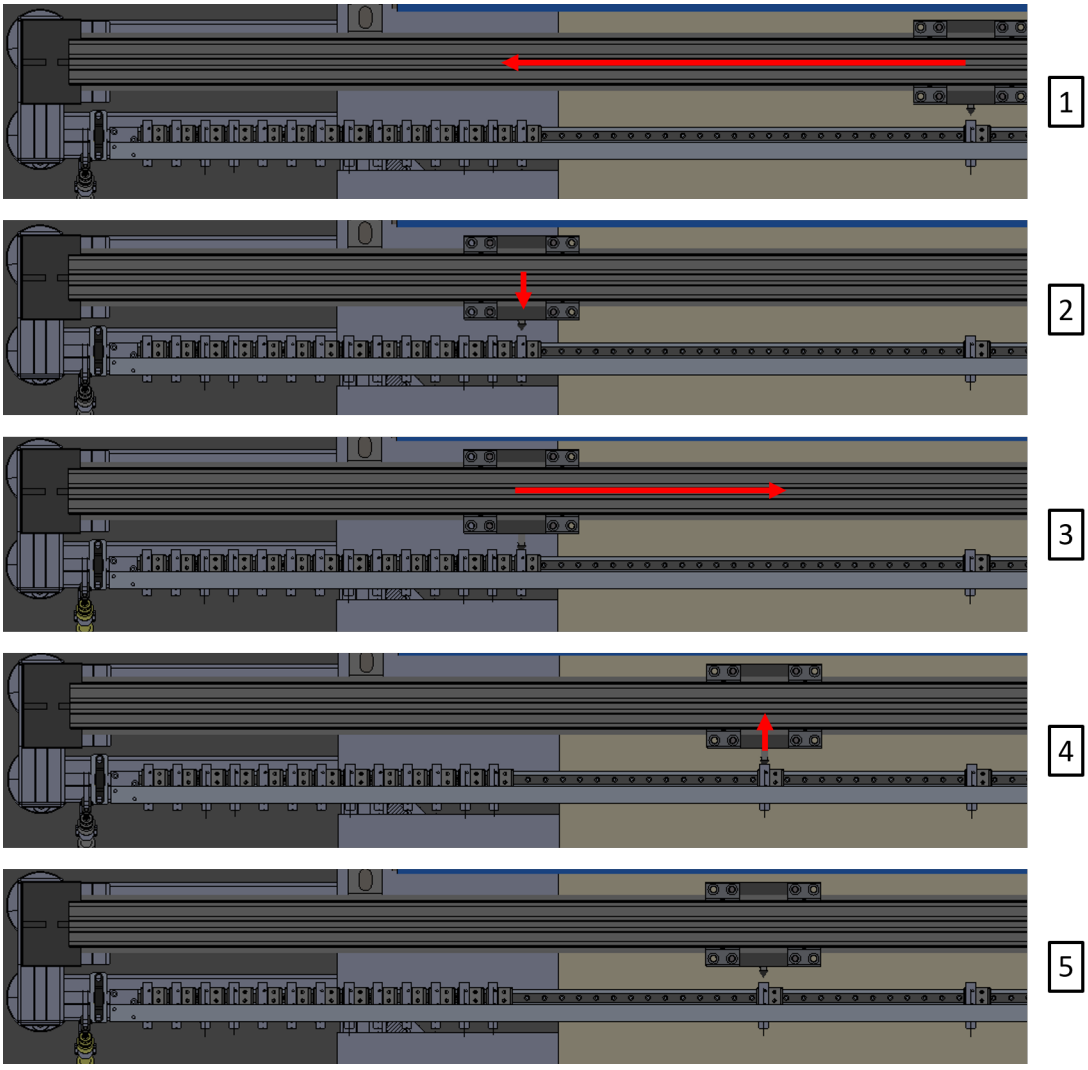


Figura 5.15: Movimentos do posicionador vistos de cima

O movimento deste atuador encontra-se ilustrado no esquema pneumático apresentado na Figura 5.16.

Foram adicionados dois detetores fim de curso no atuador, para garantir que antes de se iniciar o arrasto, o atuador está totalmente atuado, no caso de se querer arrastar uma carruagem porta lâminas e, está recuado, no caso de não se estar a efetuar o arrasto de uma carruagem porta lâminas.

Quanto ao movimento de arrasto das carruagens porta lâminas, este é realizado por um eixo eletromecânico acionado por correia dentada que, por sua vez, é acionada por um motor passo a passo. A precisão deste sistema irá influenciar diretamente a precisão de corte de largura das tiras.

Uma vez que o mínimo percurso a percorrer para o arrasto de uma carruagem porta lâminas é cerca de 50 mm, esse percurso pode ser feito de forma precisa, sem incutir erros que podiam aparecer com velocidades mais elevadas, devido às rampas de aceleração e desaceleração.

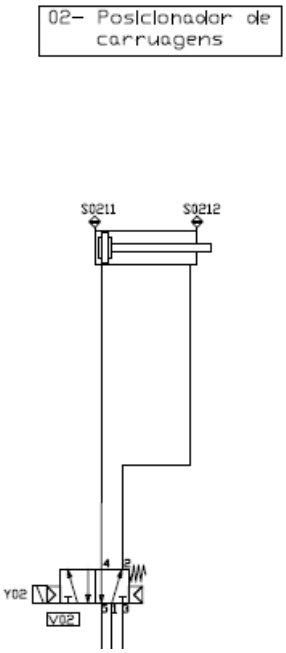


Figura 5.16: Esquema pneumático do movimento de acoplamento entre o carro do eixo posicionador e as carruagens porta lâminas

O reposicionamento das carruagens acontece sempre que é necessário alterar a largura de tira a cortar. Esta não é uma tarefa que se realize em simultâneo com as tarefas de corte e de realização de vincos. Para que esta ação ocorra, é necessário que a guia onde se encontram as carruagens porta lâminas esteja em posição de repouso. Sempre que esta se encontre em tal posição e, se verifique a necessidade de alterar a posição das carruagens, o posicionador pode então iniciar a sua função. Começando por levar todas as carruagens até às suas posições de repouso e depois por as arrastar até às posições que definem a largura de tira a cortar.

Corte transversal

Para a realização do corte transversal, executado ao longo de toda a largura do material fornecido, existem dois movimentos a referir:

- a rotação do disco de corte, e
- a translação do disco de corte.

O disco de corte é acionado por um motor de corrente contínua. Esta solução permite uma

operação silenciosa e de baixa manutenção. Uma vez que possui um rotor mais leve, permite melhor características de aceleração e travagem. [11]

Este motor transmitirá ao disco uma velocidade de 3000 rpm, permitindo que o corte do material seja eficaz e rápido, não havendo risco de danificar o material já cortado longitudinalmente.

O motor é ligado para realizar o corte transversal e rapidamente atinge a velocidade pretendida, após cada corte, este é desligado. Isto para que o motor não esteja constantemente a trabalhar, impedindo um acréscimo de perigo quando há necessidade de intervenção de um operador na zona onde este está instalado.

O movimento de translação do disco e do motor, é feito por um atuador pneumático sem haste. Este tipo de atuação é uma solução compacta, que permite um movimento rápido entre duas posições definidas, sem causar muito ruído. Este atuador pneumático, tem nas suas extremidades detetores de fim de curso, de forma a ser possível obter a informação de quando o disco se encontra em cada uma das extremidades.

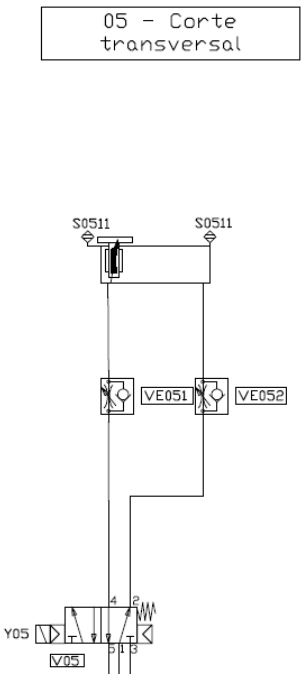


Figura 5.17: Esquema pneumático do movimento de translação do disco de corte

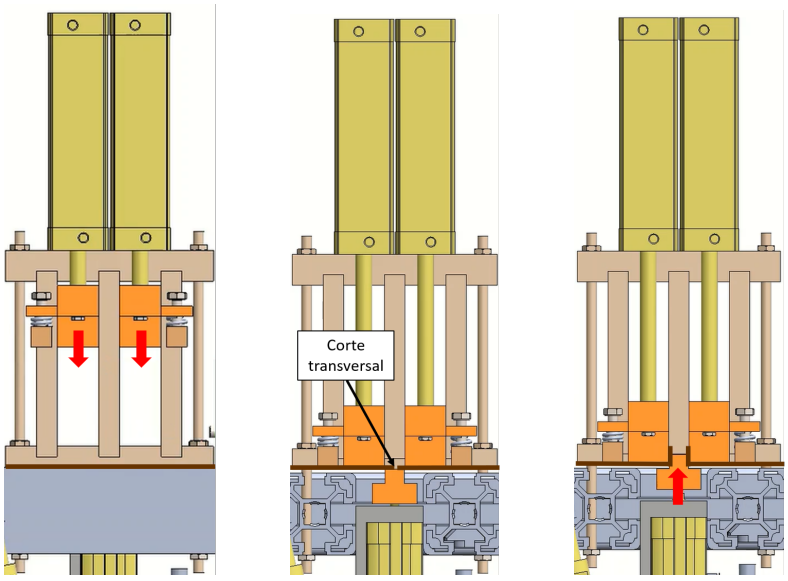
Na Figura 5.17 é apresentado o esquema pneumático deste atuador.

5.1.2.3 Realização dos vincos

A realização dos vincos é feita por movimentos lineares verticais executados pelos cunhos e pelos calcadores. Na Figura 5.18 estão representados, sobre as barras, os movimentos para a realização dos vincos.

São apresentadas 3 etapas para a realização dos vincos nas extremidades das tiras, sendo estas:

- Etapa 1: o material é calcado antes de se iniciar o corte transversal;
- Etapa 2: o material é cortado transversalmente;
- Etapa 3: o material é vincado com a subida dos cunhos.



(a) Etapa 1 (b) Etapa 2 (c) Etapa 3

Figura 5.18: Movimentos de realização dos vincos

Calcadores

As duas barras que constituem os calcadores têm movimentos independentes e não devem possuir movimentos muito bruscos, para que não haja ruído excessivo quando alcançam as suas posições extremas. No entanto, quando alcançam a posição em que estão a calcar o material devem, sobre este, exercer força de modo a fixá-lo. Cada uma das barras tem o seu movimento definido por dois atuadores pneumáticos.

Na Figura 5.19 está representado o esquema pneumático para este movimento.

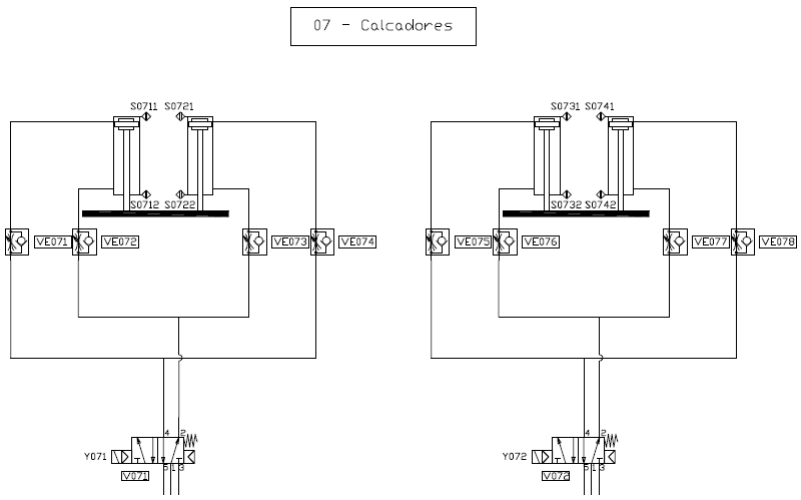


Figura 5.19: Esquema pneumático do movimento dos calcadores

Cunhos

Quanto ao movimento dos cunhos, este é garantido por dois atuadores pneumáticos. O esquema pneumático deste movimento encontra-se na Figura 5.20.

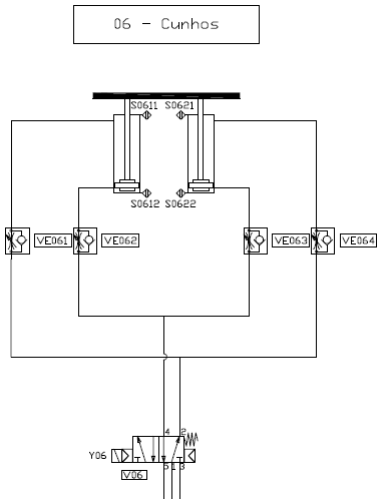


Figura 5.20: Esquema pneumático do movimento dos cunhos

Este movimento é realizado sempre que há a necessidade de realizar vincos nas extremidades das tiras presentes no local de corte transversal. Desta forma, os atuadores avançam em conjunto até atingir o curso total e permanecem nessa posição até ordem para recuar.

5.2 Sequência de fabrico

Nesta secção do capítulo é apresentada a sequência de fabrico para uma ordem de produção, sendo também apresentadas as ações a realizar para o *setup* da máquina.

Esta sequência de fabrico será dividida em 3 procedimentos, sendo eles:

- **Procedimento de *setup* do armazém** - introdução de rolos;
- **Procedimento de preparação da máquina para uma OP** - distribuição das carruagens porta lâminas conforme largura e subsequente introdução do material isolante na secção de corte;
- **Procedimento de funcionamento automático da máquina.**

Quando a máquina é iniciada, as posições iniciais dos vários componentes devem ser as que são descritas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Estados iniciais dos componentes

Componente	Estado inicial
Alinhador lateral	Ambas as barras recuadas
Rolo de arrasto	Em baixo
Posicionador	Numa das extremidades da guia com o atuador recuado
Guia de corte longitudinal	Em repouso
Guia de corte transversal	Disco na posição de repouso
Cunhos	Recuados (em baixo)
Calcadores	Recuados (em cima)
Pinça	Recuada (em posição de descarga de material)

De seguida, é desenvolvida a sequência de estados para realizar os 3 procedimentos identificados. O processo que se enumera representa um caso normal, onde é introduzido um novo rolo no armazém, acontecimento que não se sucede sempre que se pretende iniciar uma OP.

1. **Procedimento de *setup* do armazém** que inclui:
   (a) Verificação da necessidade de novos rolos de material na área de alimentação do armazém;
   (b) Remoção do tubo de suporte de um rolo terminado, ou de um rolo não terminado, mas que se pretende substituir;
   (c) Introdução de novo rolo de material isolante no tubo, conforme necessidade;
   (d) Introdução do rolo no armazém manualmente ou com auxílio de empilhador;
   (e) Registo informático dos dados do rolo introduzido:
      i. localização de alimentação;
      ii. tipo de material;
      iii. estimativa de comprimento de material que o rolo tem, se for novo é indicado que o é, se for já gasto, deve ser indicado a estimativa que foi indicada quando foi retirado do armazém;
2. **Procedimento de preparação da máquina para uma OP** (as duas tarefas que se seguem são feitas em simultâneo);
   (a) Período inicial de alimentação que envolve;
      i. Leitura dos dados da ordem de produção;
         - espessura de material;
         - comprimento de tira;
         - largura de tira;
         - quantidade de tiras;
      ii. Seleção do material isolante a cortar;

iii. Alinhamento lateral do rolo de material isolante;
iv. Introdução manual do material até rolo de arrasto;

(b) Posicionamento das carruagens porta lâminas conforme largura de tira a cortar;

3. **Período de funcionamento automático da máquina** que integra as seguintes tarefas:

(a) 1º corte de material do rolo (a desperdiçar), que inclui: corte transversal, realização de primeiros vincos e transporte para recolha;

(b) 2º corte de material (a desperdiçar), que inclui:

i. avanço de calcadores;
ii. corte transversal;
iii. subida dos cunhos, e realização dos primeiros vincos;
iv. recuo do calcador frontal;
v. elevação da pinça;
vi. avanço da pinça até posição do 1º vinco;
vii. descida da pinça, em simultâneo com descida dos cunhos;
viii. aperto do material;
ix. subida da pinça;
x. recuo da pinça e transporte do material até posição para recolha;
xi. abertura da garra;
xii. descida das lâminas;
xiii. subida dos cunhos;
xiv. recuo do calcador posterior;
xv. avanço da pinça até posição do 2º vinco;
xvi. descida da pinça, em simultâneo com descida dos cunhos;
xvii. aperto do material;
xviii. recuo da pinça, com rotação simultânea do rolo de arrasto, até posição do 2º corte transversal;

(c) Início de corte de tiras, que inclui: transporte até atingir comprimento de tira, corte transversal, realização de vincos e transporte para recolha.

(d) repetição do passo (c) até produzir quantidade de tiras necessárias.

Na mudança de OP, podem acontecer 4 casos:

A. Mesma largura de tira e mesmo material;
B. Diferente largura de tira e mesmo material;
C. Mesma largura de tira e diferente material;

D. Diferente largura de tira e diferente material.

No caso A, não há necessidade de alterações e a OP apenas segue o passo **3 (d)** da sequência de fabrico.

No caso B, a máquina deve parar para o reposicionamento das carruagens porta lâminas e de seguida passar para o passo **3 (a)**.

No caso C, após a recolha do material em cima da mesa de volta para o armazém, deve ser iniciado o passo **2** sem a necessidade de reposicionamento das carruagens porta lâminas.

No caso D, após a recolha do material em cima da mesa de volta para o armazém, deve ser iniciado o passo **2**, incluindo o reposicionamento das carruagens porta lâminas.

A sequência de fabrico apresentada é um resumo das tarefas que devem sem cumpridas de modo a produzir as tiras de isolante fundo de ranhura para uma OP.

No Anexo B são apresentados os *Grafcet* comportamentais relativos ao comportamento da máquina. Estes descrevem o funcionamento do sistema que é baseado no *grafcet* geral que, por sua vez, é constituído pelos *macrografcet* que descrevem processos mais específicos da máquina.

A sequência do funcionamento da máquina é apresentada pelos seguintes *grafcet*:

- *Grafcet* geral;
- *Macrografcet* M0 - Preparação do material isolante;
- *Macrografcet* M1 - Posicionamento do rolo de material isolante;
- *Macrografcet* M2 - Posicionamento das carruagens porta lâminas;
- *Macrografcet* M3 - 1º corte do material;
- *Macrografcet* M4 - Início de corte longitudinal;
- *Macrografcet* M5 - Corte de material em tiras;

5.3 Avaliação temporal

De forma a comparar a solução encontrada com o processo atual da *WEG EURO*, foi realizada uma análise temporal do processo de produção de isolantes fundo de ranhura. Na Tabela 5.2 é apresentada a estimativa realizada.

Algumas das tarefas podem ser realizadas simultaneamente, essas tarefas estão relacionadas com o *setup* dos processos. Na secção 5.2 tais tarefas foram designadas por:

- período de *setup* do armazém;

- e posicionamento das carruagens porta lâminas.

Quanto à primeira, esta pode ser executada sempre que o armazém esteja parado e as posições dos materiais a alterar estejam na área de alimentação do armazém. Já o posicionamento das carruagens porta lâminas, sempre que seja necessário, pode ser iniciado logo que a guia de corte longitudinal esteja em repouso.

Algumas das tarefas que constituem o processo não têm um tempo de execução constante e mudam conforme as necessidades que a ordem de produção requer. Como tal, na tabela com a estimativa temporal realizada para essas tarefas, são apresentados os limites temporais.

O tempo total que o processo demora está dependente de fatores como:

- a necessidade de alteração do isolante;
- a necessidade de alteração da posição das carruagens porta lâminas;
- da quantidade de tiras a obter;
- do comprimento de tira a obter;
- e da largura de tira a obter,

A necessidade de alterar o rolo de material isolante, implica que haja um novo corte inicial do material, para que este tenha um vinco pelo qual a pinça o possa puxar e ainda que comece a ser cortado em tiras conforme a largura desejada.

Como visto na Tabela 5.2, o tempo máximo de posicionamento das carruagens porta lâminas é superior ao tempo máximo de alimentação do processo. Estes movimentos devem ser iniciados em simultâneo, mesmo que o posicionamento das carruagens porta lâminas demore mais tempo.

Quando apenas há alterações da largura de tira a cortar, o tempo que esta tarefa acresce à produção estará dependente da diferença de larguras.

Na Tabela 5.2, os tempos apresentados para o corte transversal e para a realização dos vincos são referentes a um único ciclo de trabalho. O número de ciclos que se repetem ao longo da produção de uma OP está diretamente dependente de dois fatores: a quantidade de tiras e a largura com que são cortadas.

Sabendo que o limite superior do número de tiras é de 120 para o estator de um motor e que as tiras apresentam entre 30 e 300 mm de largura, isto reflete-se em 4 ou 40 ciclos de trabalho com cortes e transportes sucessivos.

Tabela 5.2: Estimativa da duração das tarefas para produção dos isolantes fundo de ranhura

Tarefa	**Tempo estimado**		
	mín.	**máx**	
Setup do armazém *			
Remoção de tubo		0,5	*min*
Colocação de novo rolo no tubo		0,5	*min*
Introdução do rolo no armazém	1	2	*min*
Registo da informação do rolo		0,5	*min*
Total		3,5	*min*
Alimentação do processo			
Posicionamento do rolo no local para alimentação	5	25	*s*
Posicionamento lateral do rolo		10	*s*
Introdução manual do rolo até zona de corte		60	*s*
Total	**75**	**95**	*s*
Posicionamento das carruagens porta lâminas *			
Por carruagem	0,5	4,6	*s*
Conjunto de carruagens	**7,2**	**111**	*s*
		1,85	*min*
Corte e realização de vincos			
Corte transversal (x 1)		2	*s*
Realização dos vincos (x 1)		4	*s*
Total		**6**	*s*
Transporte para material inicial a desperdiçar			
Transporte de material (x 2)		**28**	*s*
Transporte para tiras de 180 mm de comprimento			
Transporte de material (x 1)		1,8	*s*
Transporte de tiras (x 1)		7,1	*s*
Retorno à zona de corte transversal		8,9	*s*
Total		**17,8**	*s*
Transporte para tiras de 1100 mm de comprimento			
Transporte de material (x 1)		11	*s*
Transporte de tiras (x 1)		0,5	*s*
Retorno à zona de corte transversal		11,5	*s*
Total		**23**	*s*

* Tarefas que podem ser realizadas em simultâneo com outras.

Tendo em conta a quantidade de ciclos referida e os tempos estimados para cada uma das tarefas é possível calcular o tempo que leva a produzir um lote de tiras para uma ordem de produção que requeira 120 tiras. Uma vez que o tempo de transporte de tiras de diferentes comprimentos não altera muito o tempo final para a produção de um lote, na Tabela 5.3 são apresentados dois

casos de produção para as tiras de 1100 mm de comprimento.

Tabela 5.3: Estimativa de tempos de produção para 120 tiras de 1100 *mm* de comprimento

Largura de tira		30	300	[mm]
Tempo de produção	sem mudanças	116	1160	[s]
	com mudança de largura e material	266	1310	[s]

Como se observa na tabela acima, a necessidade de mudanças no processo produtivo altera em grande escala o tempo necessário para a produção de um lote de tiras.

Num caso extremo em que seja necessário cortar 120 tiras de 300 mm de largura e de 1100 mm de comprimento, trocando a configuração das carruagens porta lâminas e trocando o material isolante relativamente à ordem de produção anterior, o processo demorará cerca de 1310 segundos, o que equivale a 22 minutos. Caso as tiras tenham 30 mm de largura, realizando as mesmas tarefas, o processo apenas demorará cerca de 266 segundos, o que equivale a 4 minutos e 30 segundos, aproximadamente.

Os valores nas tabelas apresentados vêm confirmar que, havendo menos alterações relacionadas com a configuração da máquina, há uma redução significativa no tempo de produção.

Tendo como base a produção atual de isolantes para 43 motores em 8 horas de trabalho, dá uma média de 11 minutos e 10 segundos para produzir isolantes fundo de ranhura para cada motor. Foi visto que o máximo para a solução projetada seria de 22 minutos, mas este valor é para um caso especial.

Fazer uma estimativa do tempo de produção para 43 motores por dia a usar como média pode ser um pouco complexo pelas variantes que podem influenciar o processo. Pois mesmo sendo o caso extremo a produção de 120 tiras de 300 mm de largura e 1100 mm de comprimento, se ao longo de um dia fossem apenas produzidas ordens de produção com tais requisitos, não havia a necessidade de mudar de configuração constantemente. No entanto, tendo em conta que cada rolo tem cerca de 150 m de material, apenas eram cortadas 405 tiras de cada rolo de material, sendo necessários 13 rolos de material para cortar essas tiras. Se fossem produzidas 43 ordens de produção seguidas, para tiras destas dimensões, seriam necessárias 14 horas de trabalho.

A média do número de isolantes fundo de ranhura para um motor é 60, metade do valor acima calculado, e o tempo diário médio será calculado para a produção de 43 motores destes. Dando como exemplo, o corte de tiras com 90 mm de largura e 800mm de comprimento e mudando constantemente a largura de tira a obter, caso hipotético, cada lote de 60 tiras é preparado em 5 minutos. A produção de 43 motores segundo estas condições levaria 3 horas e 35 minutos, o que equivale a uma diminuição de 55 % no tempo de produção. Podendo aumentar a produção diária para mais do dobro.

5.4 Conclusões

Ao longo deste capítulo foi desenvolvida a solução de comando que descreve o funcionamento da máquina de produção de tiras de isolante.

Os movimentos automáticos dos componentes foram descritos e explicados em detalhe. De forma a perceber as soluções de comando que estes seguem, foram mostrados os esquemas pneumáticos para os movimentos destes dependentes.

Foi ainda apresentada a sequência de fabrico para um lote de tiras, que é apoiada pelos *Grafcet* presentes no Anexo B. No seguimento da sequência foram destacados alguns casos específicos.

Por fim, foi feita uma estimativa temporal da qual é possível aferir que o funcionamento da máquina está dependente do planeamento de produção. Ainda assim, foram obtidos resultados positivos que se transmitem numa produtividade melhorada em relação ao processo atual.

Com a finalização da apresentação da solução encontrada é realçada, não só a redução do tempo de produção de um lote de tiras, mas também a diminuição da intervenção humana, uma vez que esta apenas é necessário em condições de *setup*.

Capítulo 6

Conclusões e trabalhos futuros

6.1 Conclusões

O principal objetivo da presente dissertação foi o desenvolvimento de uma solução que permitisse a automatização da linha de fabrico de isolantes para estatores, mais especificamente dos isolantes fundo de ranhura que são diretamente colocados nos estatores de motores elétricos de indução.

O projeto proposto pela *WEG EURO* visa melhorar as condições de trabalho e de produção destes isolantes. Passando de um processo manual, ruidoso e monótono, para uma máquina automatizada, que reduza tais problemas e seja capaz de aumentar a capacidade de produção.

A solução proposta inclui o armazenamento dos diferentes rolos de material isolante, a alimentação desse material ao restante processo, o corte conforme as dimensões de tiras solicitadas e ainda vinco das extremidades dessas tiras.

De modo a realizar tais tarefas, a solução desenvolvida é constituída por duas secções: a secção de armazenamento e a secção de corte. Estas secções estão estruturalmente separadas e a primeira funciona coma um armazém automático para os rolos de material isolante, sendo que a segunda realiza as tarefas de transformação do material em tiras.

Os componentes apresentados que constituem a solução estão automatizados de modo a cumprir as tarefas sem grande intervenção humana. Sendo esta interação necessária aquando da alimentação do armazém e da alimentação do material desde o armazém até à secção de corte e ainda para recolha das tiras.

Ao longo do relatório foram evidenciadas as tarefas que levam ao estado final das tiras, assim como os movimentos necessários para as realizar. Chegando-se a uma solução flexível que per-

mite cortar isolantes fundo de ranhura dentro dos amplos limites de dimensões que estes podem requerer.

Com a análise temporal efetuada, conclui-se que existe uma redução no tempo de produção das tiras de isolante, que em média representa uma diminuição de 55% para uma produção média igual à atual. Mostrando que é possível um aumento de produção, como era pretendido.

Em suma, a solução projetada aumenta a capacidade de produção da linha de fabrico de isolantes para estatores, conseguindo reduzir o desperdício de material isolante e de ruído no ambiente circundante, para além de diminuir a necessidade de intervenção humana.

6.2 Trabalhos Futuros

A presente dissertação foca-se no projeto de uma máquina como tal, a fase seguinte seria a construção da máquina. No entanto, antes de passar a essa etapa existem algumas melhorias da atual solução proposta que devem ser consideradas.

Algumas das melhorias que podem vir a ser implementadas são de seguida identificadas.

- Alimentação automática do armazém até secção de corte;
- Adição de dispositivos que permitam o alinhamento do material ao longo de toda a alimentação deste;
- Separação ou identificação de material de desperdício;
- Criação de secção de corte de isolantes entre fases.

Para a solução encontrada poderiam ainda ser projetados e desenhados os esquemas elétricos.

Com todas as possibilidades acima referidas e com as melhorias realizadas, pode então passar-se a um estudo orçamental sobre todos os componentes. Com tal estudo e tendo em consideração todas as melhorias que a máquina pode trazer à linha de produção de isolantes para estatores, é possível calcular o impacto económico que a construção da máquina acarreta e, portanto, a viabilidade da sua construção.

Referências

[1] WEG. História, 2020. Disponível em https://www.weg.net/institutional/BR/pt/history.

[2] WEG. WEG em números, 2020. Disponível em https://www.weg.net/institutional/PT/pt_PT/weg-in-numbers.

[3] WEG. WEG Corporate Presentation, 2018.

[4] WEG. Começam as operações da nova fábrica da WEG na Europa, 2018. Disponível em https://www.weg.net/institutional/PT/pt_PT/news/corporativo/weg-commences-operations-at-its-new-european-factory.

[5] WEG. Operações WEG, 2020. Disponível em https://static.weg.net/medias/h5a/h90/SITE-PHOTO-Portugal-Maia.jpg.

[6] WEG. Operações WEG, 2020. Disponível em https://static.weg.net/medias/h3e/h17/SITE-PHOTO-Portugal-Santo-Tirso.jpg.

[7] WEG. Guia de especificação de motores elétricos, 2020.

[8] IWIS. Roller chains, 2020. Disponível em https://www.iwis.com/en-gb/products-services/roller-chain-16b-2-elite~p3245.

[9] IWIS. Sprockets, 2020. Disponível em https://www.iwis.com/en-gb/products-services/sprocket-16b-2-95-teeth~p7457.

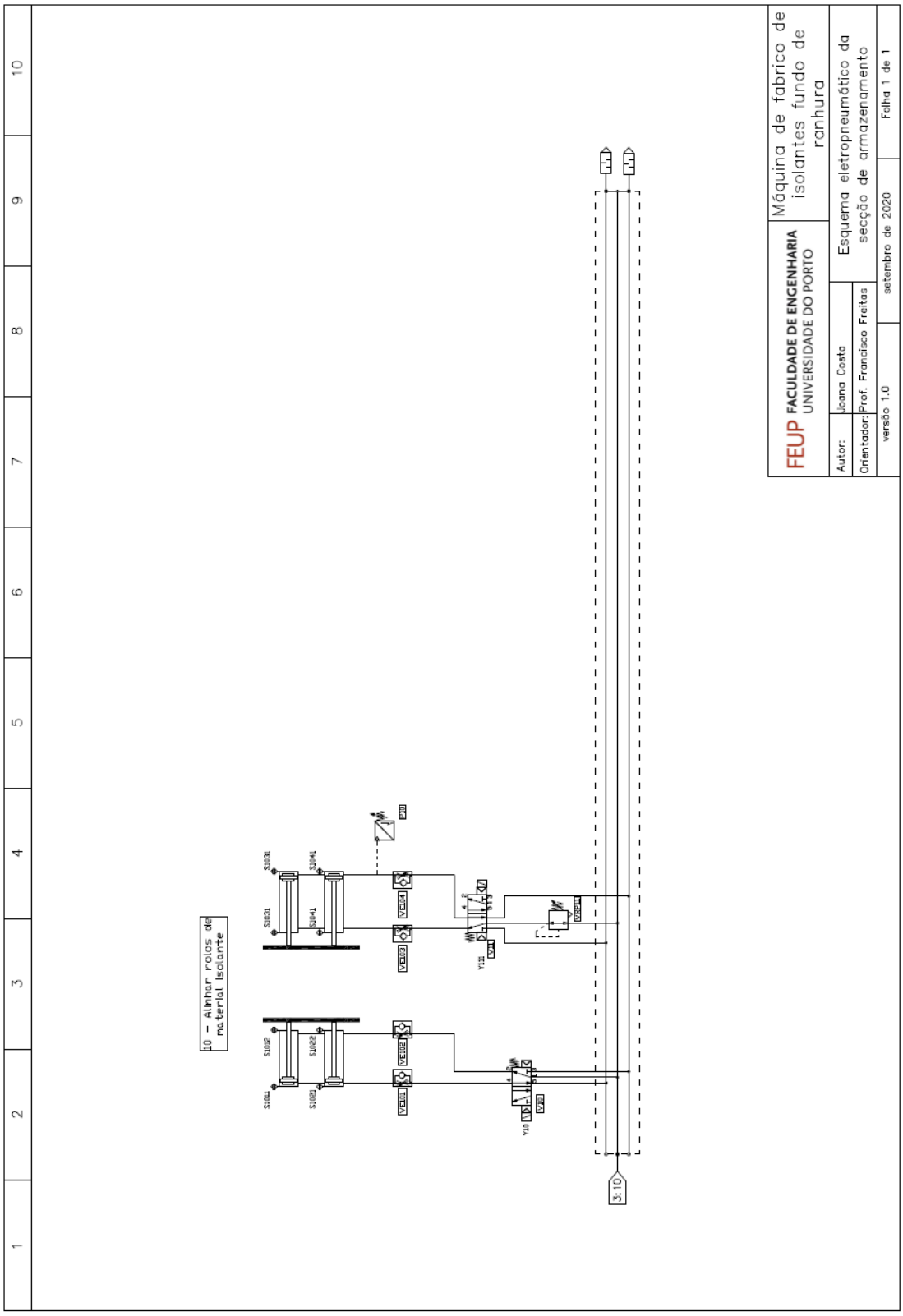
[10] IGUS. Guias lineares, 2020. Disponível em "https://www.igus.pt/drylin/linear-guide.

[11] António Francisco. Motores elétricos, 5ª edição. *ETEP-Edições Técnicas e Profissionais*, 2013.

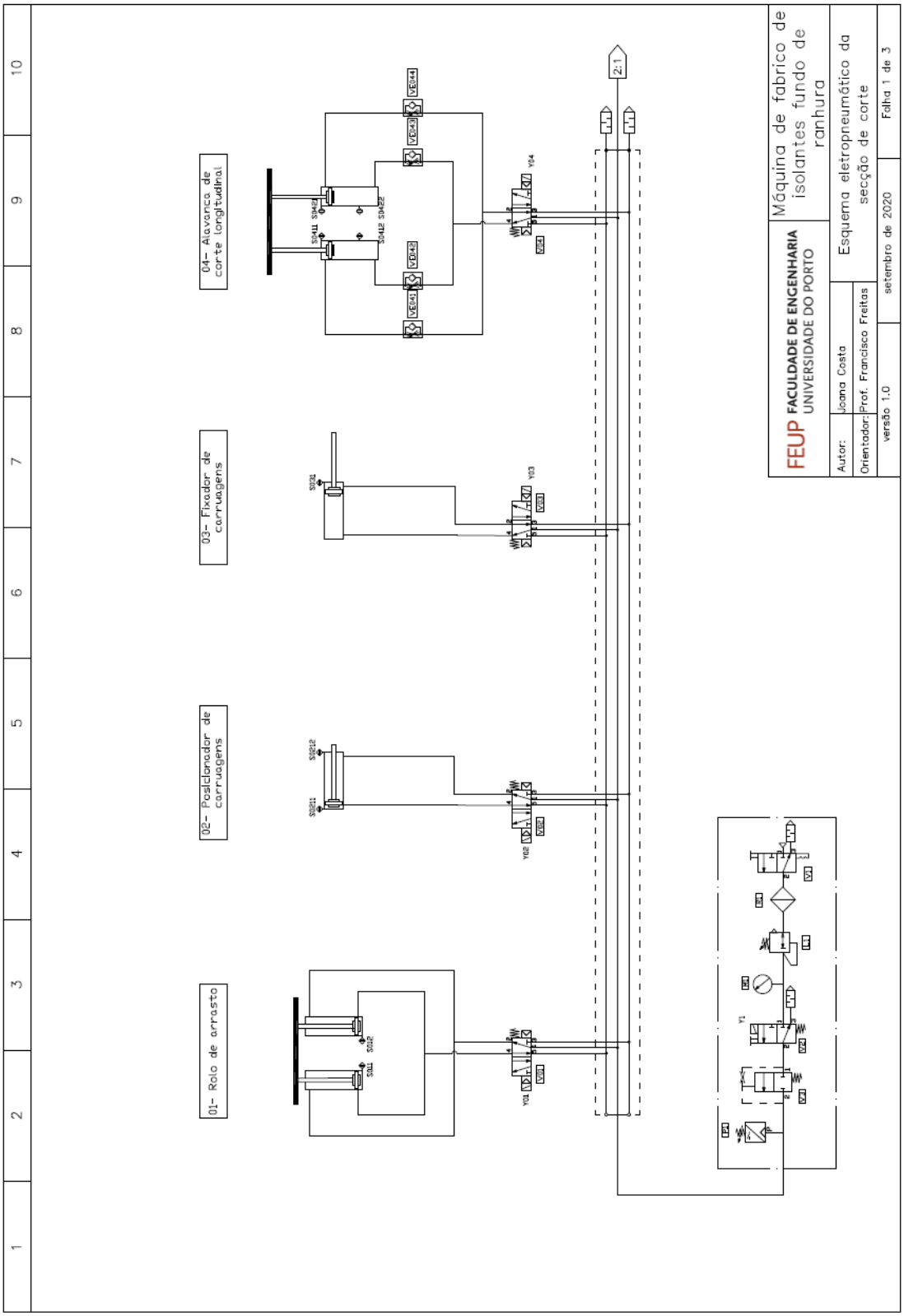
Anexo A

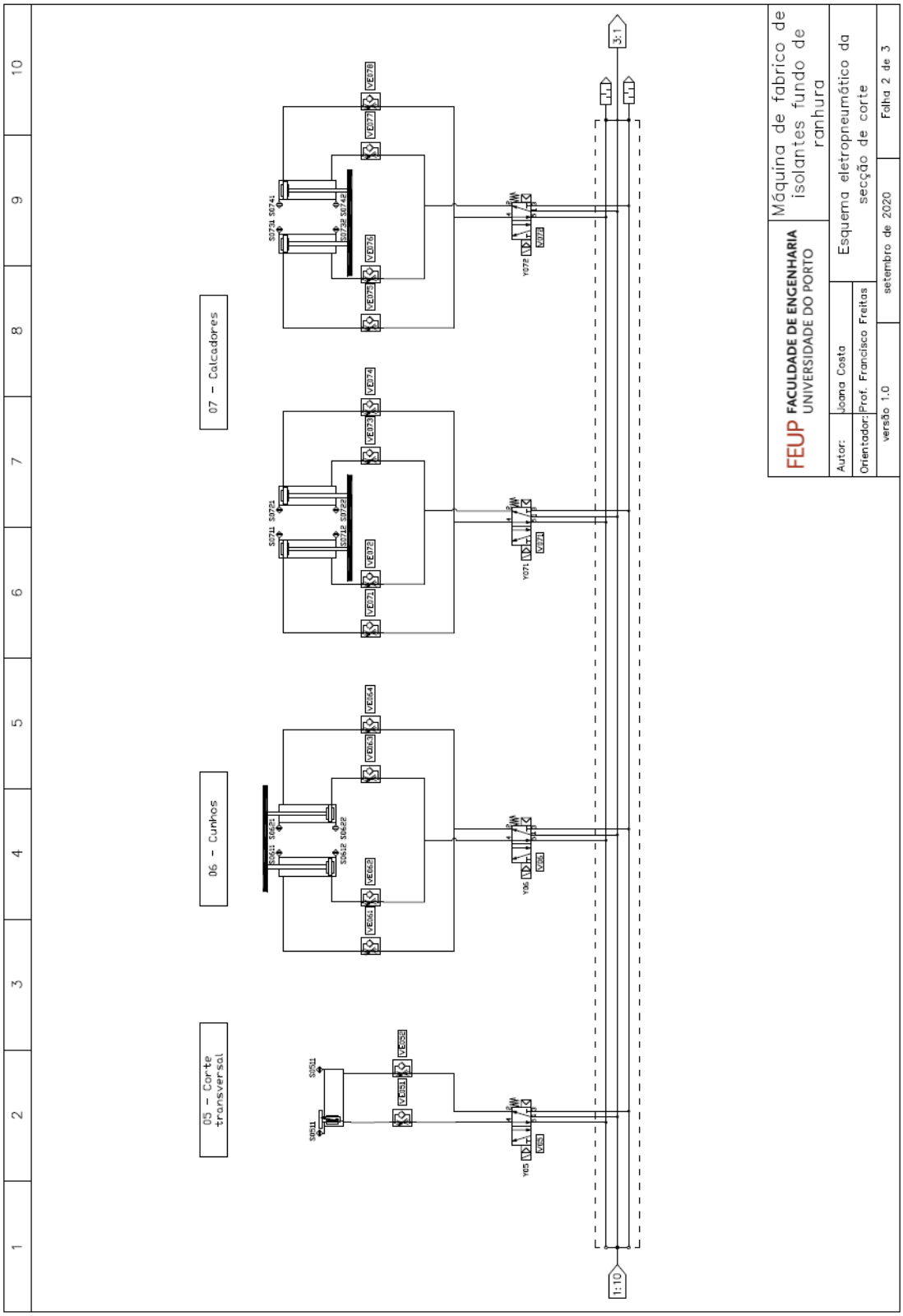
Esquemas pneumáticos

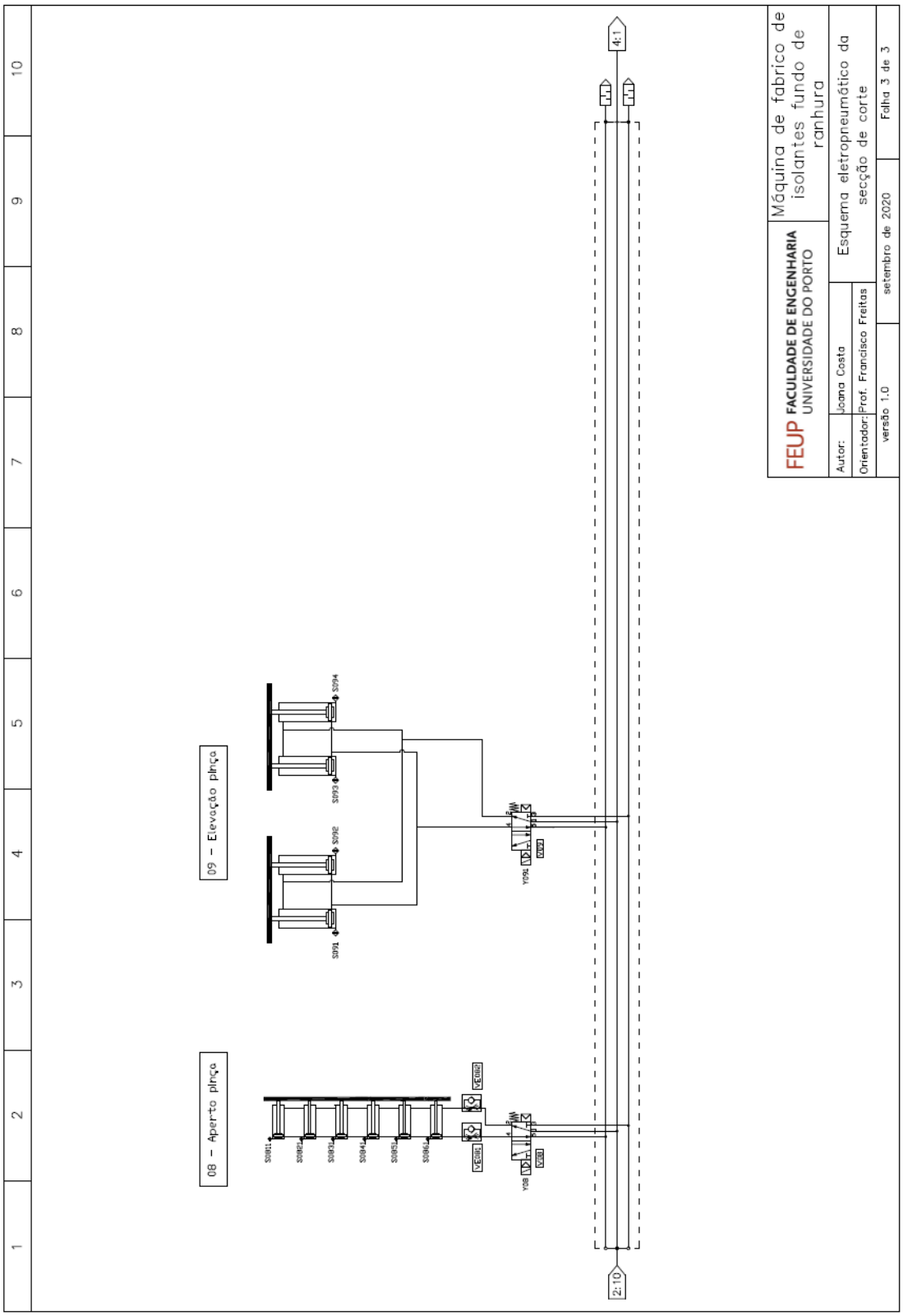
A.1 Secção de armazenamento



A.2 Secção de corte




05 - Corte transversal
06 - Cunhos
07 - Calcadores
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO
Máquina de fabrico de isolantes fundo de ranhura
Esquema eletropneumático da secção de corte
Autor: Joana Costa
Orientador: Prof. Francisco Freitas
versão 1.0
setembro de 2020
Folha 2 de 3
3:1
1:10


09 - Elevação pinça
08 - Aperto pinça
4:1
2:10
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO
Máquina de fabrico de isolantes fundo de ranhura
Esquema eletropneumático da secção de corte
Autor: Joana Costa
Orientador: Prof. Francisco Freitas
versão 1.0
setembro de 2020
Folha 3 de 3

Anexo B

Grafcet comportamentais

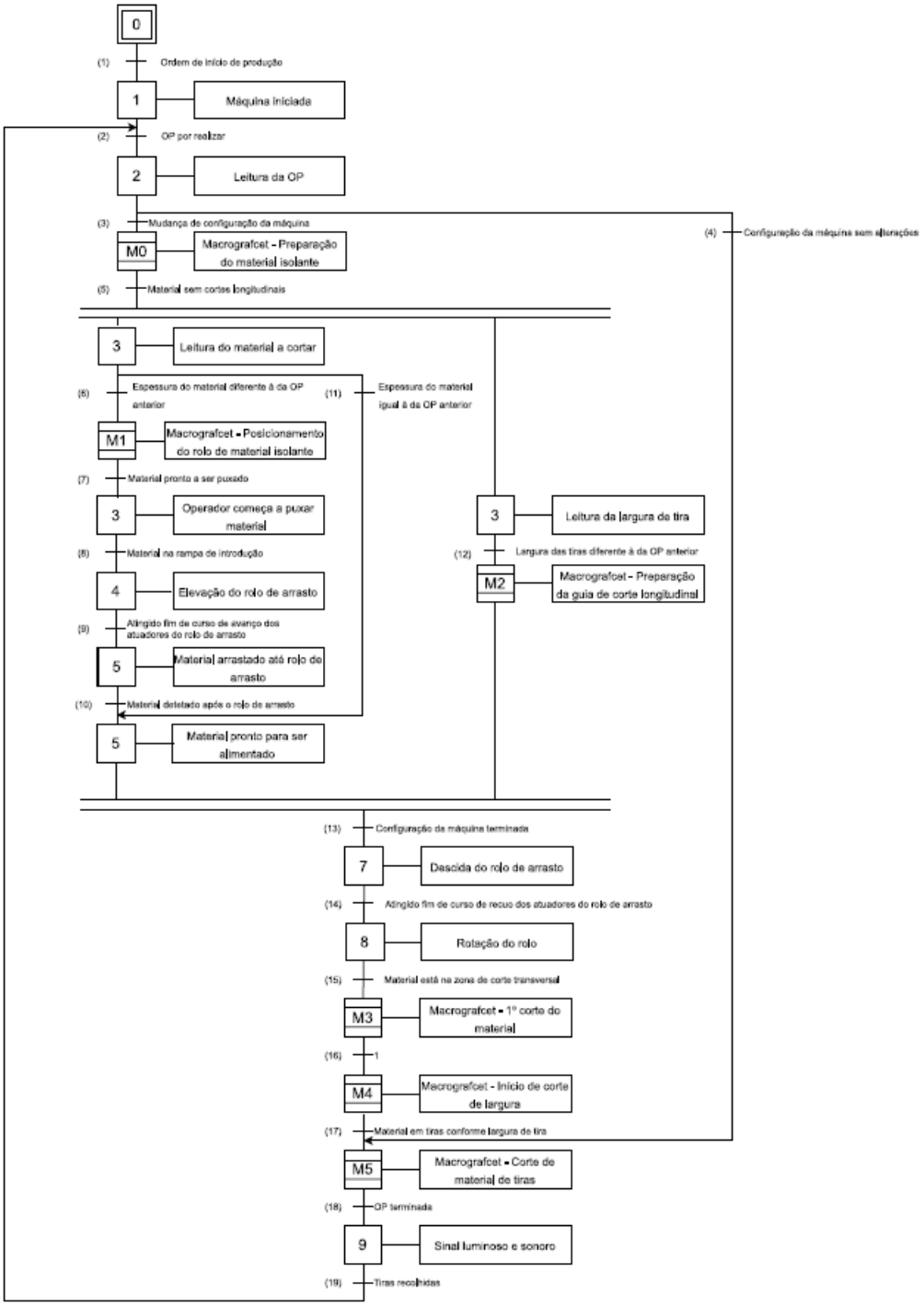


Figura B.1: *Grafcet* principal

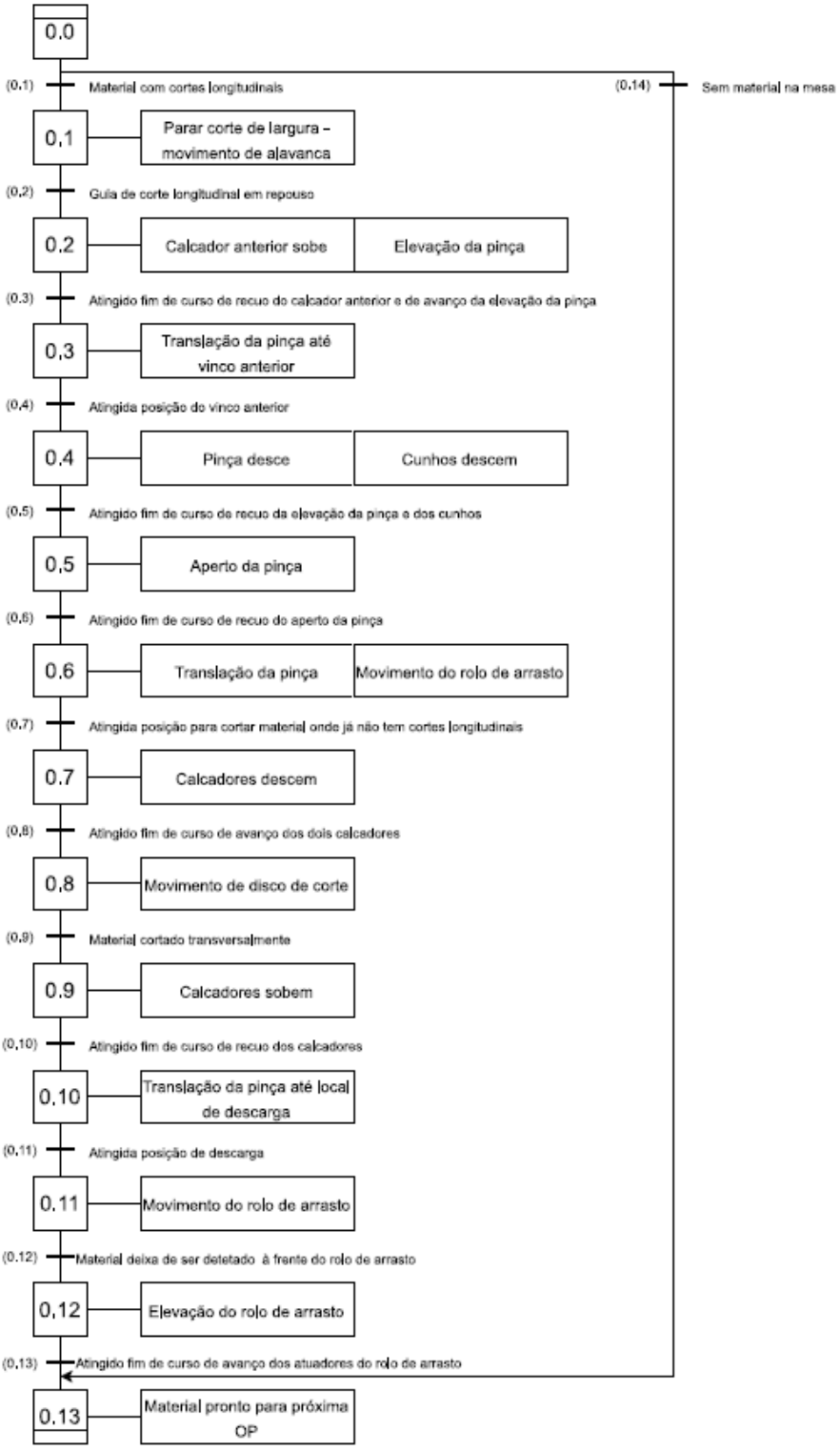


Figura B.2: *Macrografcet* M0 de preparação do material isolante

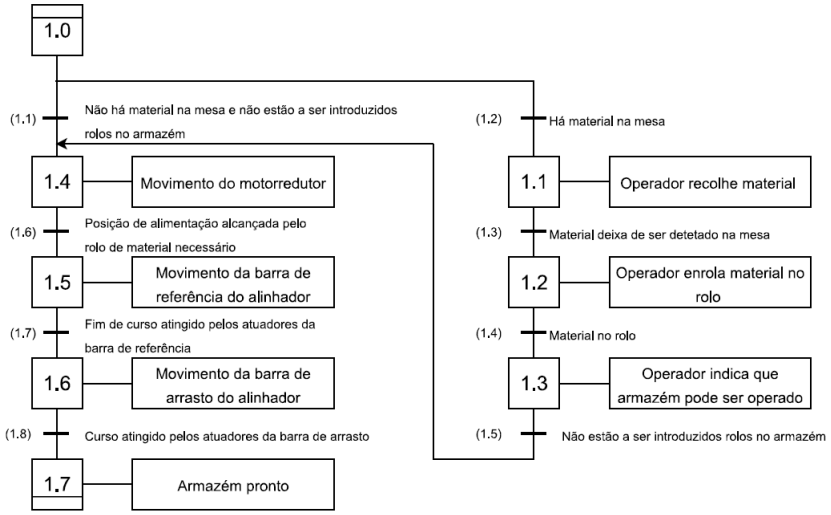


Figura B.3: *Macrografcet* M1 de posicionamento do rolo de material isolante

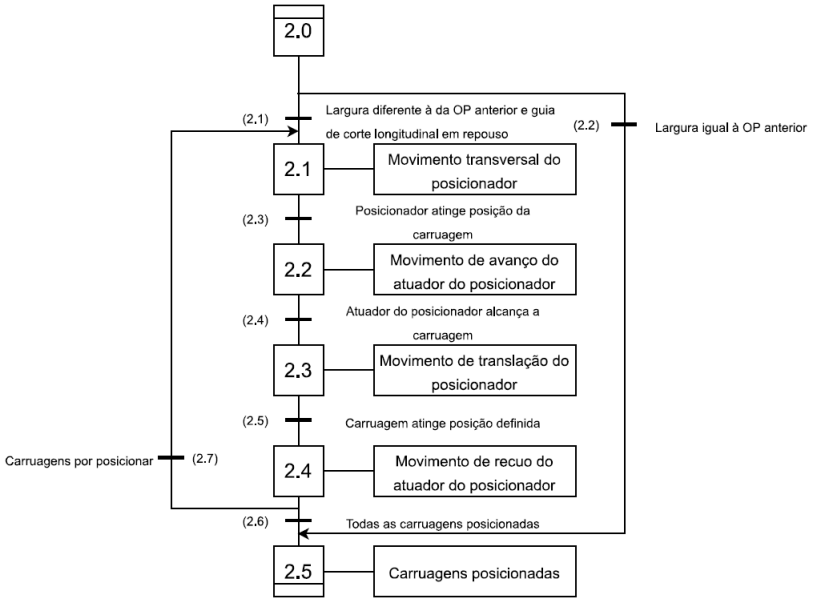


Figura B.4: *Macrografcet* M2 de posicionamento das carruagens porta lâminas

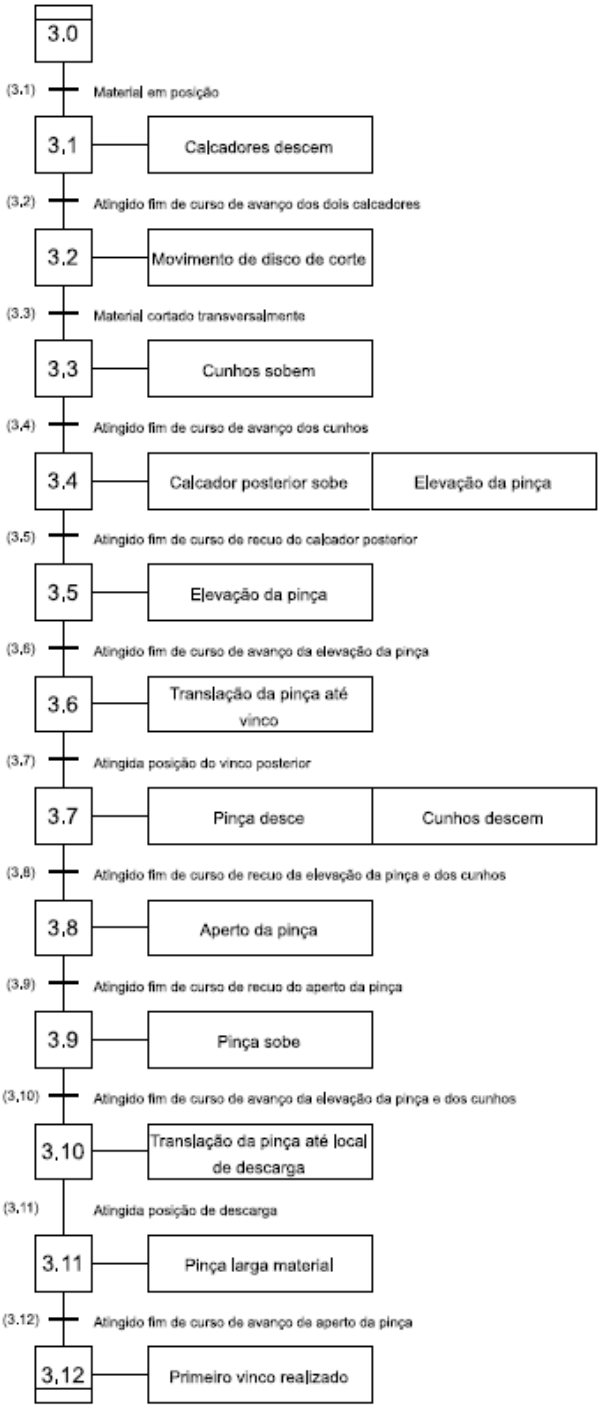


Figura B.5: *Macrografcet* M3 do 1º corte do material

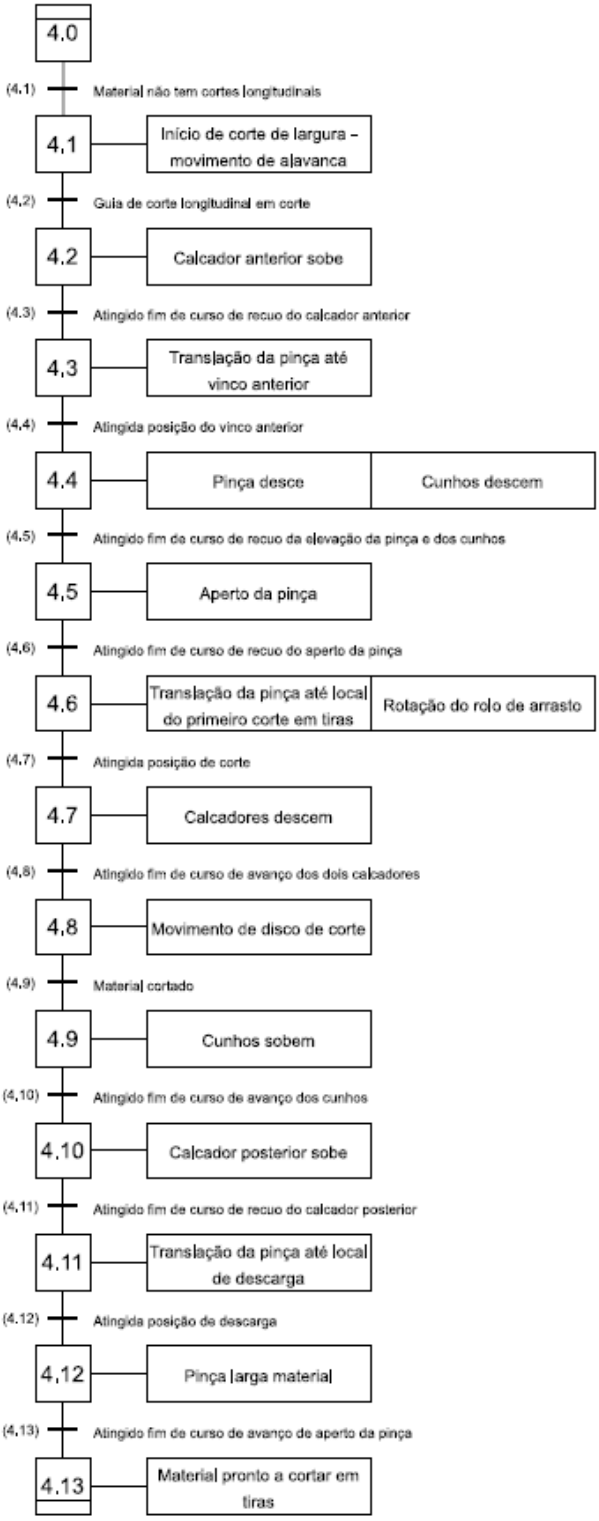


Figura B.6: *Macrografcet* M4 de início do corte longitudinal

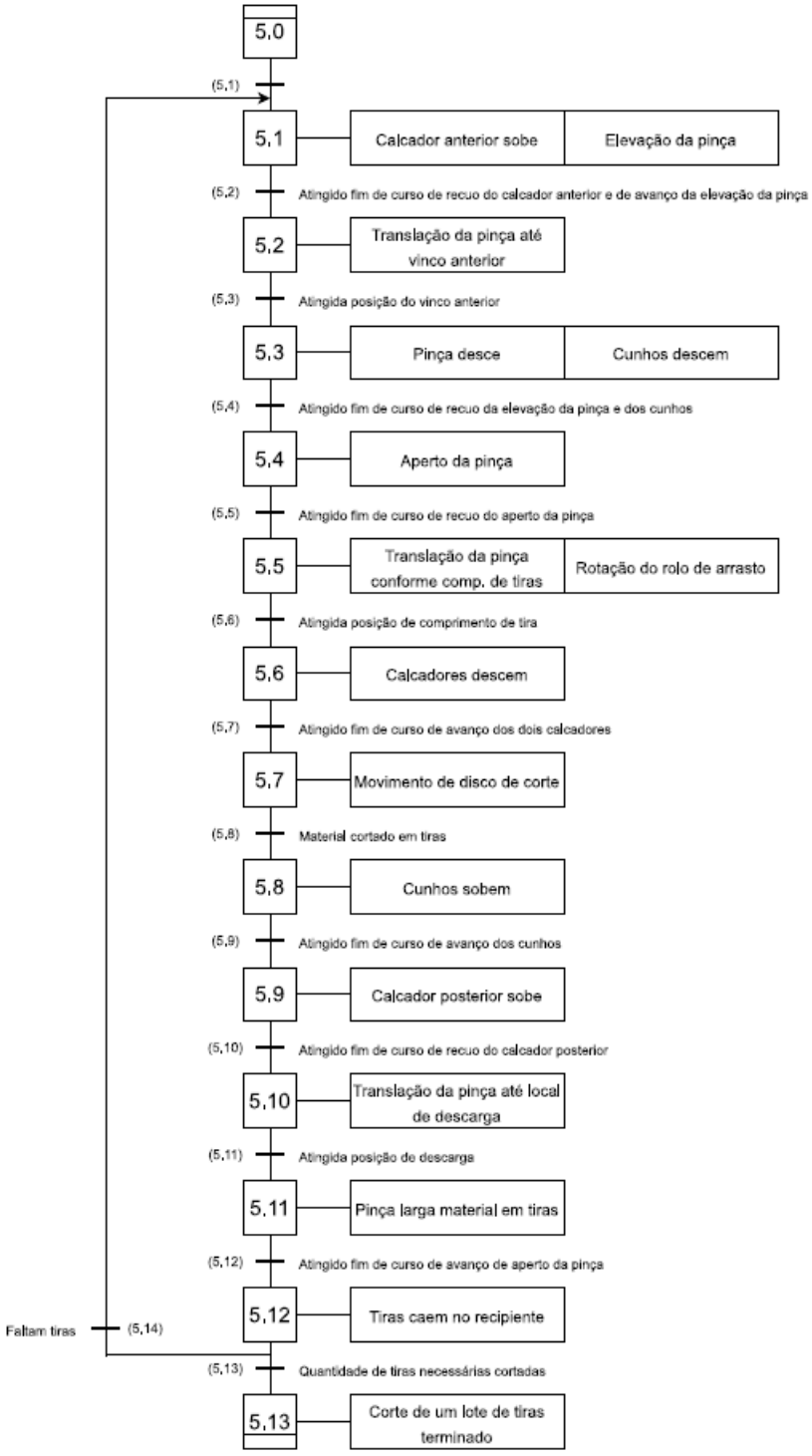


Figura B.7: *Macrografcet* M5 do corte de material em tiras