



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

José Pedro Costeira Magrinho

Medição da tensão de enrolamento nas tiras de cap ply nas cap-strips



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

José Pedro Costeira Magrinho

**Medição da tensão de enrolamento nas tiras
de cap ply nas cap-strips**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Mecânica
Área de especialização em Manufatura Avançada

Trabalho efetuado sob a orientação do:
Professor Doutor José Filipe Bizarro Meireles

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

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

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a realização desta tese.

Primeiramente, agradeço ao Professor Doutor José Filipe Bizarro Meireles pela sua inestimável ajuda ao longo do desenvolvimento desta dissertação. A sua disponibilidade, paciência e constantes críticas construtivas foram fundamentais para que pudesse entender melhor como devo trabalhar, bem como aplicar e aprimorar os meus conhecimentos. Sem a sua orientação e apoio, este trabalho não teria alcançado o mesmo nível de qualidade e profundidade.

Agradeço igualmente aos engenheiros e colaboradores do departamento de manutenção preventiva da Engenharia 3 da Continental Mabor. A todos, o meu reconhecimento. Em especial, ao engenheiro Idálio Gomes, orientador na empresa, cuja orientação e suporte foram cruciais para a implementação e desenvolvimento dos protótipos. Agradeço também ao engenheiro Horácio Cunha pela valiosa ajuda e orientação prestadas durante este processo.

Finalmente, expresso a minha gratidão à minha família, cujo constante apoio e motivação foram essenciais para a conclusão desta jornada. O seu suporte incondicional e incentivo nos momentos mais desafiadores foram imprescindíveis.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

RESUMO

A compreensão aprofundada dos processos de fabrico e a sua otimização desempenham um papel crucial na garantia da qualidade dos produtos, contribuindo assim para a sustentabilidade e rentabilidade das empresas.

Esta dissertação aborda um projeto realizado na Continental Mabor – Indústria de Pneus S.A, em colaboração com a Universidade do Minho. Este estudo consiste no desenvolvimento de um equipamento capaz de medir a tensão de enrolamento das tiras de cap ply, durante a etapa final de produção. Etapa final que consiste no enrolamento das tiras em diversos rolos, nas máquinas conhecidas como cap-strips.

A monitorização e o controlo da tensão visam a garantir que a qualidade dos rolos de cap ply é mantida ao longo de toda a produção. Ambos são fundamentais para evitar desperdícios de material e garantir a eficácia das etapas subsequentes do processo de fabrico de pneus onde são implementadas as tiras. Neste documento são propostas soluções para a medição da tensão de enrolamento e aprimoramento do processo, incluindo a possibilidade do controlo da tensão através de um sistema de travagem. Os resultados obtidos são baseados em experimentação e testes realizados, quer na máquina quer na sala de testagem, para verificar a eficácia dos protótipos desenvolvidos.

Este projeto visa modernizar o equipamento, alinhando-o com os padrões da indústria do futuro, que prioriza a automação do processo de fabrico sem comprometer a qualidade, com foco na redução de perdas associadas a enrolamentos inadequados.

PALAVRAS-CHAVE

QUALIDADE, ENROLAMENTO DAS TIRAS DE CAP PLY; TENSÃO DE ENROLAMENTO; CAP PLY; CAP-STRIP

ABSTRACT

A thorough understanding of manufacturing processes and their optimization plays a crucial role in ensuring product quality, thereby contributing to the sustainability and profitability of companies.

This dissertation addresses a project carried out at Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A, in collaboration with the University of Minho.

This study involves the development of equipment capable of measuring the winding tension of cap ply strips during the final stage of production. This final stage consists of winding the strips onto various rolls using machines known as cap-strips. Monitoring and controlling the tension aim to ensure that the quality of the cap ply rolls is maintained throughout the production process. Both are essential to avoid material waste and ensure the effectiveness of subsequent stages of the tire manufacturing process where the strips are implemented. This document proposes solutions for measuring winding tension and process improvement, including the possibility of tension control through a braking system. The results obtained are based on experimentation and tests conducted, both on the machine and in the testing room, to verify the effectiveness of the developed prototypes.

This project aims to modernize the equipment, aligning it with the standards of the future industry, which prioritizes the automation of the manufacturing process without compromising quality, with a focus on reducing losses associated with inadequate winding.

KEYWORDS

QUALITY, CAP PLY STRIP WINDING; WINDING TENSION; CAP PLY; CAP-STRIP

ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xiv
Lista de Símbolos	xv
Siglas, abreviaturas e acrónimos	xv
1. Introdução	17
1.1. Contextualização.....	17
1.2. Objetivos.....	17
1.3. Metodologia Utilizada	18
1.4. Empresa de acolhimento.....	20
1.5. Guia de Leitura	20
2. Revisão Bibliográfica	22
2.1. Introdução aos Pneus	22
2.2. Tipos de Pneus.....	23
2.2.1. Funções do Pneu Radial	25
2.2.2. Componentes de um Pneu Radial	26
2.3. Processo de Fabrico de um Pneu	28
2.3.1. Mistura.....	29
2.3.2. Calandragem.....	29
2.3.3. Extrusão	30
2.3.3.1. Expansão da matriz após extrusão	32
2.3.3.2. Extrusoras de cabeça de rolo	32

2.3.4.	Corte e produção de talões	32
2.3.4.1.	Apex	33
2.3.5.	Construção do pneu	33
2.3.6.	Cura.....	34
2.3.6.1.	Moldagem	35
2.3.6.2.	Vulcanização.....	35
2.3.7.	Inspeção final	36
2.4.	Tecidos Têxteis	36
2.4.1.	Evolução dos Tecidos Têxteis nos Pneus Pneumáticos	38
2.4.2.	Processo de Fabrico das Cordas Têxteis.....	38
2.4.3.	Características dos Tecidos Têxteis	39
2.5.	Adesão Corda-Borracha.....	42
2.6.	Tiras de Cap Ply.....	43
2.6.1.	Processo de Fabrico das Tiras de Cap Ply	43
2.7.	Análise Mecânica para o Sistema de Tensão no Enrolamento Filamentar	46
2.7.1.	Princípios Operacionais	46
2.7.2.	Controlo de sistema de malha aberta ou fechada	47
2.7.3.	Análise mecânica do sistema de tensão de enrolamento	47
2.7.4.	Análise mecânica do mecanismo de medição de tensão.....	48
2.8.	Termografia	50
2.8.1.	Impacto da carga térmica na adesão das tiras de cap ply	50
2.8.2.	Termografia de infravermelhos.....	51
2.8.2.1.	Câmara de imagem térmica.....	51
3.	Apresentação do Problema.....	54
3.1.	Apresentação da Empresa	54
3.1.1.	Continental AG	54
3.1.2.	Continental Mabor	55
3.1.2.1.	Processo produtivo na Continental Mabor.....	56

3.2.	Caracterização do Problema.....	58
3.2.1.	Apresentação da Máquina	58
3.3.	Discussão do Problema.....	60
3.3.1.	Geração de Ideias.....	62
3.3.2.	Estudo ao Mercado de Tensímetros e Transdutores.....	64
3.4.	Tensão de Enrolamento	69
3.4.1.	Sistema de Enrolamento.....	69
3.4.2.	Tipos de enroladores	69
3.5.	Princípios do enrolador	70
3.5.1.	Diâmetro	71
3.5.2.	Binário e Tensão.....	72
3.5.3.	Compensação das Perdas	75
3.5.4.	Binário	75
3.6.	Procedimentos do Ensaio Termográfico.....	76
3.6.1.	Calibração da Câmara Termográfica	78
3.6.2.	Influência da distância da câmara até o objeto	79
3.7.	Resultados.....	81
3.8.	Conclusão.....	86
4.	Projeto do Sistema de Medição	86
4.1.	Projeto e Construção do Sistema de Medição 1	87
4.1.1.	Dover Flexo Eletronics – <i>LT Transducer</i>	87
4.1.2.	Ângulo de envoltório e a Seleção da Classificação da Carga.....	88
4.1.3.	Sensor de pressão.....	90
4.1.4.	Conversão do valor da resistência para um de força (Curva de calibração).....	93
4.1.5.	Proposta do protótipo	94
4.1.6.	Componentes do Sistema 1	96

4.1.7.	Assemblagem dos componentes em 3d	99
4.1.8.	Amplificador ou Controlador de Tensão.....	100
4.1.9.	Testes	101
4.2.	Projeto e Construção do Sistema de Medição 2	102
4.2.1.	Célula de Carga.....	105
4.2.1.1.	Dimensões Técnicas, funcionamento e tipos de montagem da célula de carga 106	
4.2.2.	Componentes	108
4.2.3.	Assemblagem dos componentes.....	113
4.2.4.	Testes	116
4.2.5.	Custo do Equipamento	119
5.	Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros	120
5.1.	Conclusões.....	120
5.2.	Propostas de Trabalhos Futuros	122
6.	Referências Bibliográficas.....	123
7.	Anexos.....	124
Anexo A:	desenhos do sistema de medição 2 da tensão na cap-strip	125
Anexo B:	Desenhos do Protótipo 1 de medição da tensão na cap-strip 3.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.3.1 - Metodologia do trabalho.	19
Figura 2.2.1 - Pneu de construção diagonal.....	23
Figura 2.2.2 - Pneu de construção diagonal com cintas metálicas.....	24
Figura 2.2.3 - Pneu de construção radial.	25
Figura 2.2.4 - Identificação de cada componente envolvente na construção de um pneu. [4] ...	26
Figura 2.3.1 - Ilustração da etapa de calandragem. [6].....	30
Figura 2.3.2 - Exemplo de uma extrusora utilizada na indústria de produção de pneus.....	31
Figura 2.3.3 - Ilustração do processo de extrusão.[6].....	31
Figura 2.3.4 - Representação da etapa de construção de um pneu.[6]	34
Figura 2.3.5 - Prensas de vulcanização.	34
Figura 2.3.6 - Ilustração do processo de vulcanização. [6]	35
Figura 2.4.1 - A percentagem, em peso, de cada material no fabrico de um pneu ligeiro. [5] ...	37
Figura 2.4.2 - - A percentagem, em peso, de cada material no fabrico de um pneu ligeiro. [5] .	37
Figura 2.4.3 - Estrutura de uma corda híbrida.	42
Figura 2.6.1 - Etapas que englobam o processo de produção de tiras de cap ply na Cap-strip..	44
Figura 2.7.1 - Composição de um sistema de controlo de tensão.	47
Figura 2.7.2 - Método de aquisição da tensão de enrolamento utilizando três rolos. Sendo que o rolo número 2 é o local donde irá atuar o sensor.[8]	48
Figura 2.7.3 – Esquema e análise das variáveis presentes no sistema de aquisição de tensão.	49
Figura 2.8.1 - Demonstração gráfica da variação de temperaturas (Quanto mais clara for a cor, maior é a temperatura que o leitor está a medir).....	52
Figura 2.8.2 – Câmara de imagem térmica utilizada no ensaio de termografia, Fluke Ti300+...	53
Figura 3.2.1 - Sistema de cap-strip da STEELASTIC parecido ao sistema da cap-strip na Continental Mabor onde foi realizado o projeto. [11]	59
Figura 3.2.2 – Ilustração de um modelo semelhante ao utilizado na Continental Mabor, com as diferentes zonas da máquina destacadas por cor. [11]	60
Figura 3.2.3 - Modelo tridimensional da zona de enrolamento da cap-strip com os principais componentes do sistema.	60
Figura 3.3.1 - Esquema do sistema tensorial da tira numa das bobinas da cap-strip.	62
Figura 3.3.2 – Sketch do ponto de referência para a medição da tensão da tira de cap ply.	63

Figura 3.4.1 - Ilustração do enrolamento centralizado (a) ou de superfície (b) utilizados nas indústrias em que podem ser aplicados, tal como no enrolamento de tiras de cap ply. [12]	70
Figura 3.5.1 - Ilustração dos componentes envolventes num sistema de enrolamento e algumas das quantidades físicas igualmente importantes. [12]	71
Figura 3.5.2 - Representação das quantidades físicas num sistema de enrolamento.[12]	72
Figura 3.5.3 – Identificação das variáveis de inércia em cada um dos componentes. [12].....	74
Figura 3.5.4 - Gráfico do binário em relação à velocidade do motor. [12].....	75
Figura 3.6.1 - Fase inicial, média e final do enrolamento da tira que servirá de base para a determinação dos instantes a qual serão realizadas as medições.	77
Figura 3.6.2 - Esquema (estilo de visualização – <i>wireframe</i>) da Cap-strip 3, com a respetiva numeração de cada bobine. A vermelho estão assinaladas as bobines que serão utilizadas para as medições. A linha azul-claro representa o setor de arrefecimento. Este esquema é uma representação aproximada do estado atual da máquina, modelada no software <i>Fusion 360</i> da <i>Autodesk</i>	78
Figura 3.6.3 - Relação entre a distância (D) e a área de leitura (S), [4].....	79
Figura 3.6.4 - Campo de visão, [4].....	80
Figura 3.6.5 - Representação gráfica do distanciamento (D) entre operador e equipamento durante a leitura da temperatura.	80
Figura 3.7.1 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 1.	82
Figura 3.7.2 - Ilustração da leitura número 1 do minuto 5 efetuada na bobine 1.	82
Figura 3.7.3 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 6.	83
Figura 3.7.4 - Ilustração da leitura número 2 do minuto 20 efetuada na bobine 6.	83
Figura 3.7.5 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 11.	84
Figura 3.7.6 - Ilustração da leitura número 2 do minuto 5 efetuada na bobine 11.	84
Figura 3.7.7 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 11.	85
Figura 3.7.8 - Ilustração da leitura número 1 do minuto 35 efetuada na bobine 16.	85
Figura 4.1.1 – Os diferentes/possíveis setups do equipamento de medição de tensão do <i>Dover Flexo Eletronics</i> . [13]	88
Figura 4.1.2 - Obtenção da força resultante de acordo com o manual da <i>Dover Flexo Eletronics</i> para o aparelho <i>LT Low Tension Transducer</i> . [13].....	89
Figura 4.2.3 – Tabela fornecida pela <i>Dover Flexo Eletronics</i> com os valores da classificação de carga a ser utilizados dependentes da Força de Tensão.	90
Figura 4.1.4 – Sensor de pressão, modelo DF9-40 @ 10 kg [15].....	91

Figura 4.1.5 - Linha característica para a alteração da resistência em relação à força aplicado no sensor. [14].....	91
Figura 4.2.6 - Ponte de Wheatstone.[16]	92
Figura 4.1.7 - Ponte de Wheatstone com variável desconhecida, Rx.[16].....	93
Figura 4.2.8 - Ilustração da movimentação transversal que a roda sofre devido à passagem da tira pela roda. Sentido da movimentação está representado pela seta vermelha.	95
Figura 4.2.9 - Representação do movimento do guia e dos restantes componentes no sistema de medição 1.....	96
Figura 4.2.10 - Vista em perspetiva do protótipo 1 no software Fusion360.....	99
Figura 4.2.11 - Vista de cima do protótipo 1 no software <i>Fusion360</i>	99
Figura 4.2.12 - Posicionamento do protótipo no braço da Cap-strip.....	100
Figura 4.2.13 – Fotografia da versão física do protótipo 1.	102
Figura 4.2.1 - Demonstração do curto espaço entre a roda e o braço que inibe contacto da tira com o braço da cap-strip, o que contribui para o possível desgaste e dano da qualidade da tira.....	103
Figura 4.3.2 - Estrutura fixa de suporte da cap-strip onde será implementado o novo protótipo de medição de tensão das tiras de cap ply.....	104
Figura 4.2.3 – Célula de carga, Modelo 9301C da KISTLER. [17]	106
Figura 4.3.4 - Dimensões técnicas da célula de carga 9301C, disponibilizado pela empresa KISTLER na ficha de documentação técnica do produto [17].	107
Figura 4.3.5 - Tipos de montagem da célula de carga 9301C. Exemplo A - Introdução de força de forças de compressão; Exemplo B - carregamento de forças de tração e compressão através de uma peça de extensão; Exemplo C - Introdução de forças de tração e compressão diretamente na conexão roscada. [17].....	108
Figura 4.2.6 – Montagem do sistema de medição de tensão no <i>Fusion360</i>	109
Figura 4.3.7 - Catálogo da <i>McMaster-Carr</i> utilizado para adquirir as diferentes peças <i>standard</i> necessárias para o projeto.	113
Figura 4.3.8 - Assemblagem de todos os componentes do protótipo final.....	113
Figura 4.2.9 - Assemblagem do protótipo final na cap-strip.	114
Figura 4.3.10 - Visão frontal do protótipo na cap-strip.....	115
Figura 4.3.11 - Visão posterior do protótipo na cap-strip.	115
Figura 4.3.12 - Possível configuração de dois protótipos colocados lado a lado (Versão simplificada do protótipo).....	116

Figura 4.3.13 - Carta KL3002 utilizada na conexão ao PLC da cap-strip.....	117
Figura 4.3.14 - Amplificador 5039A da empresa KISTLER.	117
Figura 4.3.15 - Leitura de valores de tensão aleatórios realizados na sala de testes com o propósito de ver se a célula de carga e todo o sistema envolvente funcionava. Intervalo de leitura é de 0 – -3 kN.	118
Figura 4.3.16 - Leitura de valores de tensão aleatórios realizados na sala de testes com o propósito de ver se a célula de carga e todo o sistema envolvente funcionava. Intervalo de leitura de 0 – 0.03 kN.	118

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Componentes de um pneu e as respetivas funções.[5]	27
Tabela 2.2 - Ordem das etapas do processo de fabrico de um pneu.	28
Tabela 2.3 - Componentes de uma extrusora e a respetiva função.	30
Tabela 2.4 - Funções e requisitos das cordas têxteis. [1]	38
Tabela 2.5 - Análise e comparação da capacidade de cada componente têxtil em relação a diferentes parâmetros. [1]	40
Tabela 2.6 - Parâmetros gerais do processo de fabrico de tiras de cap ply que utilizam cordas têxteis de nylon ou híbridas (aramida mais nylon).....	45
Tabela 2.7 - Especificações da câmara de imagem térmica, Fluke Ti300+. [3].....	52
Tabela 3.1 - Filiais pertencentes ao grupo Continental AG, em Portugal.	55
Tabela 3.2 - Descrição geral de o processo produtivo de cada departamento na Continental Mabor.	57
Tabela 3.3 - Descrição do equipamento Handy-Tens LC da empresa BETTEN.....	65
Tabela 3.4 - Descrição do equipamento Handy-Tens LC da empresa BETTEN.....	66
Tabela 3.5 - Descrição do equipamento VNW Series Tension Transducer da empresa DFE.....	67
Tabela 3.6 - Descrição do equipamento LT Low Tension Transducer da empresa DFE.	68
Tabela 3.7 - Sequência para as medições.	76
Tabela 3.8 - Emissividade Superficial Nominal, [4]	79
Tabela 3.9 - Temperatura das tiras de cap ply nas bobines 1, 6, 11 e 16 da Cap-strip 3.....	81
Tabela 4.1 - Características do sensor DF9-40 [14].	90
Tabela 4.2 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 1.....	97
Tabela 4.3 - Dados técnicos da célula de carga 9301C da KISTLER.....	106
Tabela 4.4 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 2.....	109
Tabela 5.1 - Balanço dos objetivos do projeto inicialmente propostos.....	121

LISTA DE SÍMBOLOS

SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

Apex	Máquina aplicadora de cunhas
APA	Armazém de pneus e outros produtos acabados
Cap ply	Camada de reforço nos pneus, que aumenta a estabilidade e durabilidade
Cap strip	Máquina utilizada para produzir tiras de cap ply
CAD	Conceção assistida por computador
Creel	Zona da cap-strip onde as cordas têxteis são enroladas em bobinas
CT	Construção de talões
DATP	Departamento de apoio técnico à produção
DFE	Dover Flexo Eletronics
KM	Karkasse Machine
LT	Low Tension Transducer
PLT	Passenger and Light Truck
PU	Production Unit

Nomenclatura

$\frac{\delta w_{Motor}}{\delta t}$	Taxa de variação da velocidade angular do motor ao longo do tempo (aceleração angular) [rad/s ²]
α_1	Ângulo do filamento entre o rolo 1 e 2 [°]
α_2	Ângulo do filamento entre o rolo 2 e 3 [°]
D	Diâmetro [m]
$\frac{\delta v}{\delta t}$	Taxa de variação da velocidade linear em relação ao tempo [m/s ²]
F	Força de tensão [N]
F_o	Força constante, que pode ser devido à pré-tensão no sistema, fricção ou outras forças estáticas atuando no sistema. [N]
i	Relação de transmissão []

J₁	Momento de inércia do núcleo [kg·m ²]
J₂	Momento de inércia do rolo [kg·m ²]
J₃	Momento de inércia da caixa de engrenagem [kg·m ²]
J_M	Momento de inércia do motor [kg·m ²]
L₁	Comprimento do filamento do rolo guia 1 a 2 [m]
L₂	Comprimento do filamento do rolo guia 2 a 3 [m]
M_o	Binário de fricção estática [Nm]
n	Velocidade da rotação do motor [rpm]
T₁	Tensão do filamento entre o rolo 1 e 2 [N]
T₂	Tensão do filamento entre o rolo 2 e 3 [N]
T_{acc}	Binário dependente da aceleração [Nm]
T_p	Binário dependente das perdas relativas dos acoplamentos mecânicos [Nm]
T_w	Binário do motor [Nm]
v	Velocidade da linha [m/min]

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os pneus, atualmente, são produtos altamente avançados, compostos por diversos componentes, cada um com funções específicas, a fim de garantir um desempenho eficiente e seguro. Pode não ser imediatamente aparente, no entanto, é crucial reconhecer a crescente importância dos pneus LT no contexto do mundo contemporâneo, especialmente à medida que a população continua a expandir-se.

A produção de um pneu envolve não apenas compostos de borracha, mas também outros tipos de materiais, como metais ou materiais têxteis híbridos. A utilização desses materiais contribui significativamente para a funcionalidade aprimorada do pneu.

Os reforços têxteis utilizados são obtidos por meio da impregnação de tecidos ou cordas com borracha. Esses reforços proporcionam rigidez, estabilidade dimensional e durabilidade sob pressões internas elevadas às quais os pneus são submetidos. Um dos reforços mais comuns é o cap ply.

O cap ply consiste em cordas têxteis e borracha, sendo utilizado na fabricação das cintas têxteis. O processo de fabrico do cap ply é, de certa forma, extenso e passa por uma máquina denominada de cap-strip, que está alocada a um posto da fábrica prévio à impregnação das cordas têxteis com a borracha numa extrusora. Após a impregnação, o material é enrolado em bobinas, mantendo-se uma tensão adequada para garantir a integridade do enrolamento e evitar danos à tira.

É crucial manter um alto nível de qualidade ao longo de todas as etapas do processo de fabrico do pneu e dos diversos ciclos, a fim de evitar falhas e minimizar desperdícios. Como não é possível reutilizar uma tira danificada, qualquer falha resulta em desperdício de recursos financeiros e temporais. Atualmente, esse processo ainda não está totalmente automatizado, porém a empresa busca evoluir para um ambiente de "indústria do futuro", implementando monitorização e controlo rigorosos ao longo do processo.

1.2. OBJETIVOS

O trabalho a ser desenvolvido nesta dissertação tem como principal objetivo medir a tensão de enrolamento das tiras de cap ply a fim de garantir o controlo e a otimização do processo. É de realçar que o foco desta dissertação não passa por determinar ou encontrar um valor ou intervalo de valores de tensão de enrolamento adequados para o processo. Atualmente, na empresa a tira é enrolado de acordo

com uma certa velocidade e tensão que a empresa acredita ser correta. No entanto, existem momentos em que essas variáveis se desviam da normalidade, devido à dificuldade em assegurar fiabilidade no processo de fabrico da tira, resultando em anomalias no processo do pneu. Portanto, é suficiente manter a tensão atual e apenas verificar e corrigir eventuais desvios quando ocorrerem, ajustando os valores para o intervalo normal.

Assim sendo, os objetivos desta dissertação incluem:

- Compreender o funcionamento do fabrico da cap-strip e as diferentes etapas do equipamento, desde a extrusão até ao enrolamento, bem como compreender o processo de fabrico das tiras de cap ply.
- Investigar se há falta de atenção em relação a outras variáveis, como temperaturas e outros fatores, que podem não estar a ser considerados.
- Avaliar os danos que as falhas nas tiras podem causar nos processos posteriores de fabrico de pneus e as perdas associadas a esses danos para a empresa.
- Identificar áreas e métodos para automatizar ainda melhor o processo e desenvolver um método para melhor controlar a tensão durante o enrolamento.
- Realizar experiências, como ensaios laboratoriais ou ensaios na máquina, para testar diferentes hipóteses e soluções capazes de medir a tensão de enrolamento e transmitir os dados para um computador, a fim de controlar a tensão caso esta varie ao longo do processo.
- Controlo da tensão de enrolamento através do sistema de travagem já implementado na cap-strip.

Do ponto de vista pessoal é um desafio pois há uma oportunidade de participar ativamente num aspeto importante de uma empresa grande, já muito otimizada do que não poderia ser melhor para um desenvolvimento de conclusão do curso de engenharia mecânica.

1.3. METODOLOGIA UTILIZADA

A elaboração desta dissertação seguiu uma sequência de atividades conforme está descrito na Figura 1.3.1.



Figura 1.3.1 - Metodologia do trabalho.

1.4. EMPRESA DE ACOLHIMENTO

O trabalho foi desenvolvido em ambiente industrial, na empresa Continental Mabor –Indústria de Pneus S.A., situada em Lousado, Famalicão, através de um estágio curricular realizado durante seis meses, sob a orientação tutorial do Engenheiro Idálio Gomes

1.5. GUIA DE LEITURA

Esta dissertação encontra-se dividida em sete capítulos.

O Capítulo 1 introduz o contexto e a relevância do trabalho, destacando o tema da dissertação. Além disso, são delineados os objetivos e a estrutura do trabalho, fornecendo uma visão geral do que será abordado nos capítulos subsequentes.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica abrangente, abordando uma variedade de tópicos relevantes ao projeto. Inicia-se com uma introdução aos pneus, destacando a sua importância. Em seguida, são explorados os principais componentes dos pneus, com ênfase nas tiras de cap ply, incluindo uma descrição detalhada da sua função. O capítulo também discute o processo de fabrico dos pneus e das tiras de cap ply, fornecendo uma visão geral das etapas envolvidas e dos diversos desafios enfrentados durante o processo. Ademais, é abordado os princípios mecânicos presentes de um sistema de tensão no enrolamento filamentar e discute-se uma abordagem ao impacto da carga térmica no enrolamento da tira. E por fim, é detalhado um estudo termográfico com o objetivo de verificar se a temperatura da tira ao longo do processo varia e se essa variação pode ter algum efeito na qualidade da aderência da tira e no seu enrolamento. O estudo envolve a utilização de um equipamento especial e próprio para medir e analisar as variações de temperatura ao longo das diferentes etapas do processo de fabricação das tiras de cap ply.

No terceiro capítulo apresenta-se o caso de estudo. É realizada uma análise minuciosa das causas do problema identificado, investigando os possíveis fatores que contribuem para o incorreto enrolamento das tiras de cap ply. Além disso, são apresentadas as orientações e os objetivos do trabalho prático, delineando as ações a serem tomadas para abordar as questões identificadas. Por fim, o capítulo oferece uma visão detalhada da empresa hospedeira, fornecendo informações adicionais sobre a sua estrutura, operações e contexto relevante ao estudo em questão. Neste capítulo, também é abordado detalhadamente o estudo das tensões de enrolamento, começando por uma revisão dos estudos realizados por outros autores que serviram como base para uma compreensão mais aprofundada e para o desenvolvimento futuro de um possível protótipo. São também apresentados os resultados do ensaio termográfico mencionado no capítulo anterior.

O quarto capítulo detalha o desenvolvimento dos protótipos concebidos. Ademais, são discutidas as características e funcionalidades dos protótipos desenvolvidos, destacando como cada um deles aborda os requisitos e objetivos estabelecidos. Por fim, são apresentadas as conclusões sobre os protótipos desenvolvidos, fornecendo uma avaliação geral da sua eficácia e identificando possíveis melhorias ou áreas para desenvolvimento futuro.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões decorrentes de todo o trabalho realizado ao longo do estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO AOS PNEUS

Os pneus pneumáticos surgiram no Reino Unido no século XIX, como um upgrade aos pneus de borracha maciços, com o objetivo de equipar bicicletas. O primeiro pneu pneumático foi inventado pelo senhor *John Boyd Dunlop*, sendo o seu objetivo equipar rodas de bicicletas. A patente deste pneu foi registada em 1888. Em 1895, *André Michelin* optou por experimentar a utilização destes pneus em automóveis, sendo a primeira pessoa a realizar tal feito. Contudo, o pneu pneumático não mostrou grandes resultados, sendo que apresentou falta de durabilidade e rentabilidade. Através de *Philip Strauss*, em 1911, surgiu a combinação do pneu com uma câmara de ar, e, com isto, disponibilizou-se a utilização dos pneus em automóveis. Ademais, estes pneus apresentaram um bom desempenho. Mais tarde, com a evolução da tecnologia surgiu a opção de eliminar a utilização da câmara de ar, sendo este conceito patenteado por *Litchfield* da empresa *Goodyear Tire Company*. [1]

Geometricamente, o pneu para automóveis pode ser considerado um toro. Mais especificamente, uma superfície de revolução gerada pela rotação de um círculo no espaço tridimensional, sobre um eixo coplanar com o círculo. Mecanicamente, o pneu é um vaso de pressão de membrana e estruturalmente é um material compósito de alta performance. O pneu é uma estrutura de borracha reforçada com cordas (têxteis e metálicas) com propriedades viscoelásticas, sendo este sujeito a uma deformação contínua durante o seu ciclo de vida, e tem de cumprir uma lista fundamental de funções, tal com:

- Fornecer capacidade de carga;
- Fornecer amortecimento ao veículo;
- Transmitir o momento de aceleração e de travagem;
- Fornecer força para curvar;
- Garantir estabilidade dimensional;
- Resistência à abrasão;
- Gerar resposta à direção;

- Ter baixa resistência ao rolamento;
- Provocar baixos valores de ruído e vibração;
- Ser durável durante a vida útil projetada.

2.2. TIPOS DE PNEUS

Existem três tipos de pneus: o pneu diagonal, pneu radial e pneu diagonal com cintas metálicas. Cada categoria de pneu apresenta as suas próprias vantagens em situações específicas. Um tipo de pneu é especialmente indicado para situações que requerem baixas velocidades e envolvem terrenos *off-road*, como em aplicações agrícolas. Por outro lado, o outro tipo de pneu pode ser mais adequado para velocidades moderadas ou elevadas em veículos ligeiros de uso rodoviário.

Os pneus diagonais, Figura 2.2.1, são utilizados em camiões, reboques e utensílios de agricultura (*Agrotyres*). Cordas das telas têxteis estendidas de talão a talão com um ângulo inferior a 90° com a linha central do piso. São de simples construção e fácil fabrico. Contudo, a deformação do pneu vai forçar a ocorrência de esforços de corte entre as telas têxteis, o qual irá resultar na geração de calor. O movimento do piso também resulta numa baixa resistência ao desgaste.

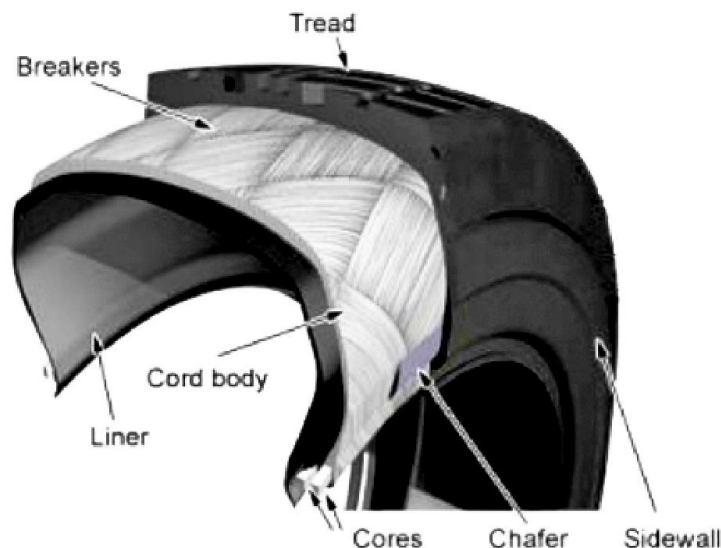


Figura 2.2.1 - Pneu de construção diagonal

Tradução da figura: (**Breaker** – Cintas metálicas; **Tread** – Piso; **Cord Body** – Telas; **Chafer** – Talão; **Sidewall** – Parede lateral; **Liner** – Forro). [2]

Pneus diagonais com cintas metálicas (*belts* ou *breaker plies*), ver Figura 2.2.2, utilizam as cintas metálicas como recurso para restringir a expansão da carcaça do pneu em relação à direção

circunferencial. Estes pneus proporcionam uma maior resistência e estabilidade na região do piso do pneu. Devido ao aumento da rigidez no piso, melhora-se a resistência ao desgaste.

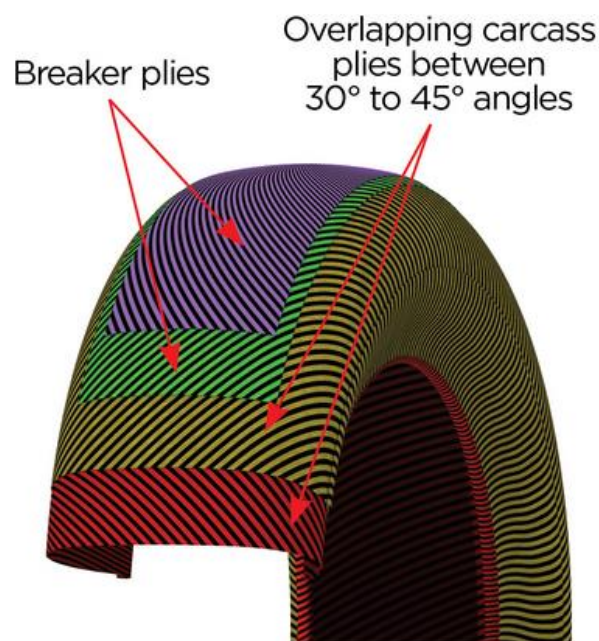


Figura 2.2.2 - Pneu de construção diagonal com cintas metálicas.

Tradução da figura: (**Breaker Plies** – Cintas metálicas; **Overlapping carcass plies between 30° to 45° angles** – Camadas de cintas sobrepostas entre ângulos de 30° a 45°)[3]

Os pneus radiais, Figura 2.2.3, são utilizados nos automóveis, e tal como os pneus de construção diagonal, as cordas das telas são estendidas de talão a talão, sendo que neste caso fazem um ângulo de 90° com a linha central do piso. Adicionalmente, são colocadas duas ou mais cintas metálicas na região do piso para aumentar a resistência e estabilidade do pneu e, consequentemente, proporcionar uma maior resistência ao desgaste.

As cordas dos pneus radiais facilitam a deformação do pneu sobre carga, gerando menos calor e permitindo uma resistência ao rolamento mais baixa, uma melhor performance a altas velocidades. e maior rigidez ao piso, resultando assim, numa maior resistência ao desgaste.

A desvantagem deste pneu é a complexidade da construção, que por sua vez irá resultar num aumento de custos de produção, como também uma maior duração no tempo de construção.

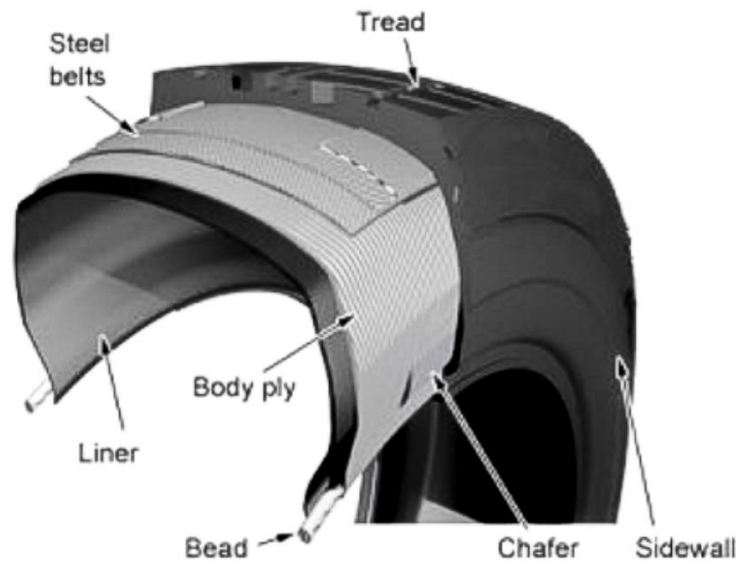


Figura 2.2.3 - Pneu de construção radial.

Tradução da figura: (**Steel belts** – Cintas de aço; **Tread** – Piso; **Body Ply** – Telas; **Chafer** – Talão; **Sidewall** – Parede lateral; **Liner** – Forro; **Bead** – Núcleo de talão)

2.2.1. FUNÇÕES DO PNEU RADIAL

Os pneus radiais desempenham um papel fundamental no desempenho e na segurança de veículos. Com a sua construção, estes pneus oferecem uma combinação de aderência, durabilidade e eficiência de combustível. As seguintes características distintivas de um pneu radial contribuem para uma experiência de condução mais suave e confiável. [1]

- Interface veículo – estrada: A função primária do pneu é providenciar a interface entre o veículo e a estrada. Tipicamente, a área de contacto da borracha dos quatro pneus de um carro típico é inferior a uma folha de papel de 21.59 x 27.94 centímetros; sendo que cada pneu tem uma área de pegada aproximadamente do tamanho de uma mão de um ser humano.
- Suportar o peso do veículo: A distribuição do peso no veículo causa os pneus a defletirem até que a pressão média da área do contacto seja balanceada pela pressão interna nos pneus. Por exemplo, assumindo uma inflação de pressão no pneu de 35 psi, então uma carga de 350lb equivale a uma média de 10 polegadas quadradas de área de contacto. Concluindo, cargas elevadas requerem áreas de contacto superiores (maior deformação) ou pressão nos pneus superiores. Consecutivamente, uma maior área de contacto requer um pneu maior. Esta requisitos/informação encontram-se normalizadas, sendo que podemos encontrar cada pneu e as suas características em diversos catálogos.

- Atrito da superfície da estrada: A habilidade dos veículos arrancarem, pararem ou virarem em curvas resulta do atrito gerado entre a estrada e o pneu. Para lidar com as diversas condições climáticas e de estrada (terrenos molhados, secos, cobertos de neve ou gelo) os pneus têm de ter um certo design/padrão do seu piso. Em terrenos secos, pneus sem piso (pneus *slick* ou *bald*) têm a melhor performance e melhor tração. O piso do pneu permite o escoamento de água do contacto do pneu com a estrada, minimizando o *hydroplaning* e simultaneamente proporcionar um equilíbrio entre por vezes ter boa tração, baixa degradação e pouco ruído.
- Absorver irregularidades do terreno: Podemos caracterizar o comportamento do pneu como o de uma mola, sendo que absorve os impactos e irregularidades da estrada. [1]

2.2.2. COMPONENTES DE UM PNEU RADIAL

Na Tabela 2.1 estão listados os diversos componentes de um pneu radial, juntamente com a função específica de cada um no desempenho global do pneu. Cada um destes componentes está representado na Figura 2.2.4, tal como o seu respetivo posicionamento no pneu.

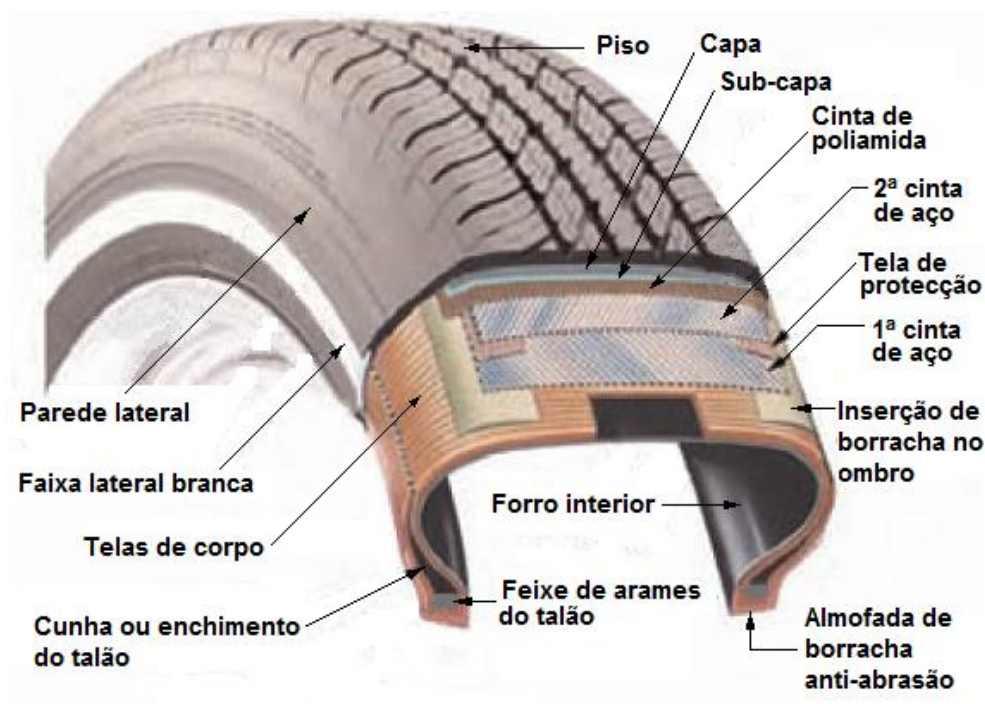


Figura 2.2.4 - Identificação de cada componente envolvente na construção de um pneu. [4]

Tabela 2.1 - Componentes de um pneu e as respectivas funções.[5]

Componente	Descrição
Camada estanque	Composto fino, colocado na superfície interior do pneu sem câmara de ar (<i>tubeless tire</i>) de forma a melhorar a retenção do ar através da redução da permeabilidade para fora através do pneu.
Camada de reforço da carcaça	Revestimento de borracha que revolve/encapsula as camadas das cordas de reforço radiais.
Tela têxtil	Tecido têxtil impregnado com borracha que é enrolado sobre um talão, passa radialmente pelo pneu e é enrolado sobre o talão do lado oposto do pneu. Este tecido tem o objetivo de fornecer consistência ao pneu, de forma a conseguir suportar a elevada pressão interna e, aumentar a resistência a impactos na parede do pneu.
Núcleo de talão	Conjunto de arames impregnados, com o intuito de fixar o pneu à jante do automóvel.
Tira de goma de abrasão	Fornece uma camada de borracha entre o tecido têxtil e a jante do pneu, de forma a melhorar a resistência ao esfolamento. (<i>chaffing</i>).
Cunha de talão (<i>Apex</i>)	É aplicado no topo dos talões, eliminando o vazio que existe entre as camadas de tecido interiores e exteriores. A variação da altura e rigidez da cunha de talão pode alterar o comportamento do pneu e por sua vez do veículo, em relação ao andamento e manuseamento do mesmo.
Parede lateral	A parede protege a carcaça do pneu contra a abrasão, impacto e fadiga, como também fornece um maior conforto. O composto de borracha deve resistir às ruturas ou fraturas causadas por condições ambientais tal como o ozônio, oxigénio, radiação ultravioleta e o calor.
Reforço do talão	Tecido têxtil impregnado com borracha colocado junto ao talão, de modo a aumentar a resistência do talão, fornecendo uma maior rigidez ao pneu.
Camada estabilizadora	A camada estabilizadora é o revestimento de borracha aplicado nos cabos de aço banhados em latão. Tem a função de resistir à fadiga e à fratura.
Cintas metálicas	São cordas de aço impregnadas com borracha. Este componente é responsável por reter a forma do pneu, garantir estabilidade direcional, limitar a expansão do pneu, reduzir a resistência ao rolamento e aumentar a resistência contra danos das camadas subjacentes.
Cunhas de cintas	Pequenas tiras da camada estabilizadora são colocadas entre as cintas metálicas, de modo a reduzir o cisalhamento da camada interlaminar nas extremidades da cinta.

Tabela 2.1 - Componentes de um pneu e as respectivas funções. (Continuação)

Componente	Descrição
Piso	Composto por três camadas de borracha, é o componente que entra em contacto com o solo. O piso deve fornecer aderência, resistência ao rolamento, estabilidade direcional e resistência ao desgaste ao pneu.
Cintas têxteis (Cap ply)	Cordas têxteis impregnadas com borracha enroladas à volta do pneu. São utilizadas para evitar a deformação do pneu a altas velocidades, devido às forças centrífugas geradas.

2.3. PROCESSO DE FABRICO DE UM PNEU

Neste capítulo será realizada uma abordagem mais extensa do processo de fabrico do pneu, não só na Continental Mabor, mas como também nas diversas outras fábricas que fazem parte do grupo Continental. Mais à frente, no capítulo 3.1.2.1 é mencionado e descrito o processo produtivo na Continental Mabor, onde foi apresentada uma breve descrição dos cinco departamentos presentes na fábrica. A Tabela 2.2 apresenta cada uma das etapas, juntamente com a sua posição na sequência de produção do pneu.

Tabela 2.2 - Ordem das etapas do processo de fabrico de um pneu.

Etapas	
1	Mistura
2	Calandragem
3	Extrusão
4	Corte e produção de talões
5	Construção de um pneu em “verde”
6	Cura
7	Inspeção Final

2.3.1. MISTURA

A mistura do composto de borracha é um processo fundamental na tecnologia de borracha. Excluindo a borracha, o composto utilizado no fabrico de pneus contém cerca de dez ingredientes, sendo que cada um tem o seu propósito. O objetivo deste processo é obter a melhor qualidade de dispersão possível dos ingredientes. Uma dispersão in equilibrada dos ingredientes, pode resultar numa deterioração, de até 30%, das propriedades do material.

Os compostos de borracha são misturados em misturadores internos ou em moinhos de dois rolos. Dos dois, o misturador interno é o equipamento mais utilizado devido ao fator de automatização que este proporciona ao processo. O misturador consiste numa câmara de mistura equipada com uma unidade de injeção de ingredientes líquidos e num alimentador de negro de fumo e sílica. A unidade computacional do equipamento controla a pesagem em balanças para correias transportadoras, a abertura e fecho dos mecanismos de fechamento, medição dos negros de fumo, químicos e plastificantes e o movimento da porta de descarga.

Uma unidade de folhagem de rolos de parafuso duplo produz uma folha de cerca de 10mm de espessura e com 1000 mm de largura. Posteriormente, as tiras precisam de passar por um banho de solução antiaderente, de forma a evitar que as tiras de borracha grudem umas nas outras ao serem empilhadas na paleta.

2.3.2. CALANDRAGEM

A calandragem é o processo onde o composto de borracha é empurrado através de um espaço entre dois rolos (designado por “*nip*”) para formar uma folha de borracha reforçada. A espessura desta borracha é determinada pela altura do “*nip*”. As máquinas envolvidas neste processo são as calandras. Este equipamento está dividido de acordo com o número de rolos utilizados, sendo que podemos ter moinhos de dois rolos ou de múltiplos rolos (o mais comum é o de quatro rolos). Maioritariamente das vezes, a espessura da folha pode determinar o número de rolos da calandra, sendo que quando mais fina for a folha, mais rolos a calandra deve ter. O moinho de dois rolos (2R) é utilizado para o aquecimento, homogeneização e mistura de compostos, como também para a alimentação das calandras de múltiplos rolos na produção de folhas, e tiras de revestimento de têxteis e cabos de aço. Geralmente, as calandras de rolos múltiplos fazem parte de uma linha de produção equipada com equipamentos de alimentação e aquecimento, com extrusoras e moinhos de rolos múltiplos. A Figura 2.3.1 representa aquilo que seria a etapa de calandragem no processo de fabrico de um pneu.



Figura 2.3.1 - Ilustração da etapa de calandragem. [6]

2.3.3. EXTRUSÃO

Neste processo o composto de borracha é exposto a tensões de compressão e cisalhamento entre o parafuso e o cilindro da extrusora e é empurrado através da matriz para o espaço aberto. Este é um dos métodos de processamento de compostos de borracho mais eficaz na indústria. A Tabela 2.3 menciona cada componente pertencente a uma extrusora e a respetiva função e, na Figura 2.3.3 está ilustrado o processo de extrusão da borracha. Um modelo típico de uma extrusora encontra-se na Figura 2.3.2.

Tabela 2.3 - Componentes de uma extrusora e a respetiva função.

Componente	Descrição
Tremonha (<i>Hooper</i>)	É uma calha onde folhas ou tiras são alimentadas para a extrusora.
Rolo de pressão	Ajuda o composto a obter aderência no parafuso para que este seja puxado para dentro da extrusora.
Parafuso	É o elemento-chave de uma extrusora. Ao longo do seu comprimento, divide-se em diferentes zonas com diferentes funções (Zona de alimentação, compressão e de encontro).
Zona de alimentação	Onde o material é puxado para dentro da extrusora.
Zona de compressão	Onde o composto é comprimido e plastificado.
Zona de encontro	Onde a temperatura necessária é alcançada e o material é homogeneizado.

Tabela 2.3 - Componentes de uma extrusora e a respetiva função. (Continuação)

Componente	Descrição
Cabeçote de extrusão	Tem a função de conectar as diferentes extrusoras a uma só máquina. Por vezes, devido às especificações do pneu, é necessário recorrer a mais que uma extrusora (cada um com “fins” diferentes).
Canais de fluxo	“Guia” a borracha das diferentes extrusoras para as posições requisitadas/especificadas.
Acionamento	O motor de uma extrusora é conectado a uma caixa de engrenagens que reduz a velocidade de rotação e aumenta o binário.



Figura 2.3.2 - Exemplo de uma extrusora utilizada na indústria de produção de pneus.

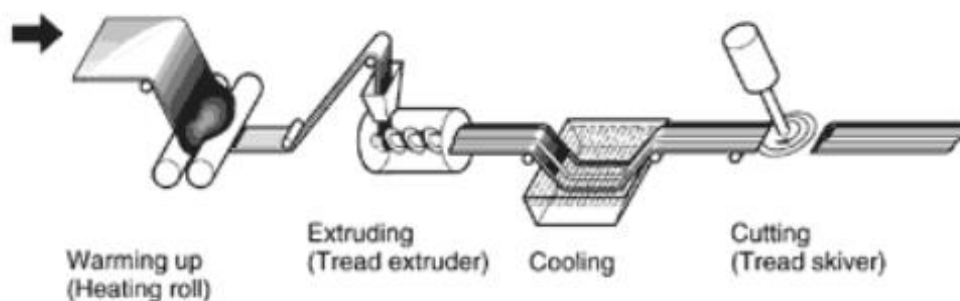


Figura 2.3.3 - Ilustração do processo de extrusão.[6]

2.3.3.1. EXPANSÃO DA MATRIZ APÓS EXTRUSÃO

No processo de extrusão ocorre um fenômeno, designado por expansão da matriz onde, após o extrudado sair da cabeçote da extrusora entra em contacto com uma pressão e temperatura ambiente, este expande. Deste modo, o perfil da matriz deve ser menor que o perfil do material extrudado. A expansão do perfil extrudado pode ser influenciado pelos seguintes fatores:

- Temperatura de extrusão: Quanto menor for, maior será o aumento do volume do perfil;
- Processabilidade do composto de borracha: Quanto menor for o amassamento, maior é a expansão;
- Formulação do composto de borracha: Maior teor de borracha implica um maior inchamento;
- Corte da matriz: Corte mais nítido leva a um aumento do volume do perfil.

2.3.3.2. EXTRUSORAS DE CABEÇA DE ROLO

A extrusora de cabeça de rolo é utilizada para produzir folhas/tiras de borracha sem reforços. Este equipamento consiste em um moinho de dois rolos diretamente conectados à extrusora, substituindo a matriz utilizada nas restantes extrusoras. Deste modo, consegue-se produzir-se perfis largos, finos e de boa qualidade.

2.3.4. CORTE E PRODUÇÃO DE TALÕES

Antes de serem remontados numa tira contínua, o material deve ser cortado. Este processo é feito mecanicamente para garantir a largura e os ângulos exatos. Para tal, utilizam-se cortadores de cabo de aço para preparar o material de talões ou das telas de cabo de aço para pneus de caminhão e utiliza-se cortadores têxteis para fornecer a lona têxtil (*textile body ply*) para pneus de carros de ligeiros.

O corte é efetuado através de facas circulares ou guilhotinas. Os dispositivos de corte são ajustáveis para cortar ângulos e larguras especificados. Assim que o material é cortado, as peças são unidas, manualmente ou automaticamente, para formar uma faixa "sem fim" de material que é enrolada entre os revestimentos em cassetes.

O enrolamento de talões é utilizado para criar anéis de fios de aço impregnados com borracha. Após a montagem do pneu no aro, os talões ficam localizados dentro do aro.

A produção de talões requer um arame de aço de alta resistência com a superfície revestida de latão ou bronze. Os fios (número de fios é especificado previamente) são desenrolados e conduzidos perpendicularmente através da extrusora onde serão revestidos com borracha.

2.3.4.1. APEX

Cada talão receberá um perfil *Apex*. Este é um perfil extrudado que é colocado circunferencialmente no talão. Os talões são carregados em um tambor e, em seguida, por meio de uma rotação do tambor são aplicados os perfis.

2.3.5. CONSTRUÇÃO DO PNEU

Esta etapa de produção é a de maior exigência na manufatura de pneus, sendo que o processo de construção tem um impacto significativo na qualidade do produto final. Os fatores-chaves na construção do pneu em “verde” são:

- O equipamento: Máquinas com bom funcionamento e bem ajustadas são vitais para a produção de pneus de alta qualidade.
- O operador: Aumenta a qualidade dos pneus aplicando outras etapas de construção e verificações.
- A qualidade dos componentes: Os parâmetros de qualidade e tamanho dos componentes fornecidos pelos equipamentos anteriores desempenham um papel crucial na qualidade final dos pneus.
- O ambiente e métodos: O ambiente de trabalho, principalmente o layout, formação técnica, procedimentos de trabalho, processo tecnológico, especificações e a sua disponibilidade no local de trabalho são elementos importantes para alcançar uma produção de alta qualidade.

Geralmente, os pneus são produzidos enrolando tiras de borracha em um tambor cilíndrico. Na Continental, o padrão é utilizar um processo de construção que consiste em duas etapas na produção de pneus radiais para automóveis de passageiros, bem como na produção de pneus para caminhões e veículo comerciais. Relativamente aos pneus de veículos de passageiros, utilizam-se duas máquinas de construção para a montagem do pneu em “verde”, a KM (Karkasse Machine) e a PU (Production Unit). A KM produz a carcaça e a PU molda a carcaça e enrola e coloca as cintas, as tiras de cap ply e o piso na carcaça. Durante este processo as paredes laterais são anexadas e o pneu verde é costurado e pode

ser removido da máquina de construção de pneus. A Figura 2.3.4 demonstra um processo semelhante ao utilizar na construção de pneus na Continental Mabor.

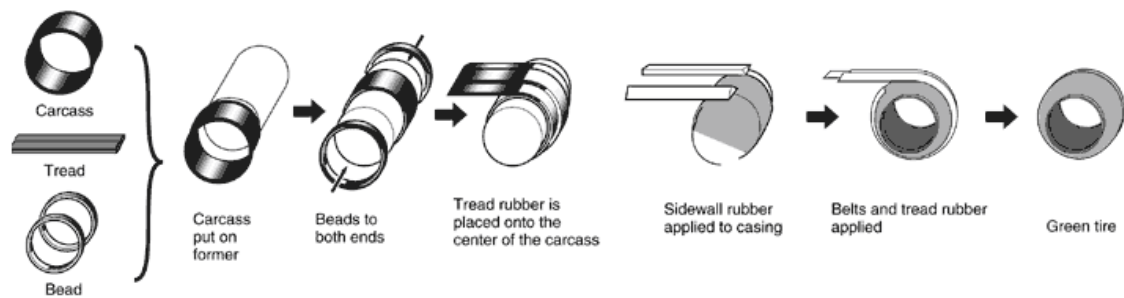


Figura 2.3.4 - Representação da etapa de construção de um pneu.[6]

2.3.6. CURA

Assim que o pneu é construído, ele passa para o processo de cura, onde lhe será atribuído a sua forma final e propriedades mecânicas desejadas para o seu funcionamento. A cura do pneu consiste em dois processos, a moldação e a vulcanização, que são efetuados simultaneamente num equipamento designado por prensa de vulcanização. Existem dois tipos de prensas, a hidráulica e a mecânica, e ambas expõem o pneu a altas temperaturas e pressão por um período de tempo definido. O departamento de vulcanização de uma fábrica de pneus é geralmente parecido ao setup apresentado na Figura 2.3.5.



Figura 2.3.5 - Prensas de vulcanização.

2.3.6.1. MOLDAGEM

Depende da pressão e ocorre no início do processo de cura. O pneu verde é colocado no molde, onde é aquecido e submetido a pressão. A combinação de pressão e temperatura força o composto de borracha a se adequar ao formato da superfície interna do molde. Os moldes são gravados com o padrão do piso e as marcações das paredes laterais. [7]

2.3.6.2. VULCANIZAÇÃO

É uma reação químico-física que provoca mudanças estruturais moleculares no composto de borracha. Macromoléculas de borracha pura (*raw*) são unidas com um agente vulcanizante e produzem ligações cruzadas, convertendo a borracha anteriormente plástica em uma borracha principalmente elástica. A Figura 2.3.6 demonstra, de maneira simplificada, o processo de vulcanização.

Após a vulcanização a borracha elástica possui as propriedades mecânicas necessárias e essenciais para a vida útil do produto, tais como:

- Elasticidade;
- Alongamento;
- Dureza;
- Resistência ao desgaste;
- Resistência a químicos.

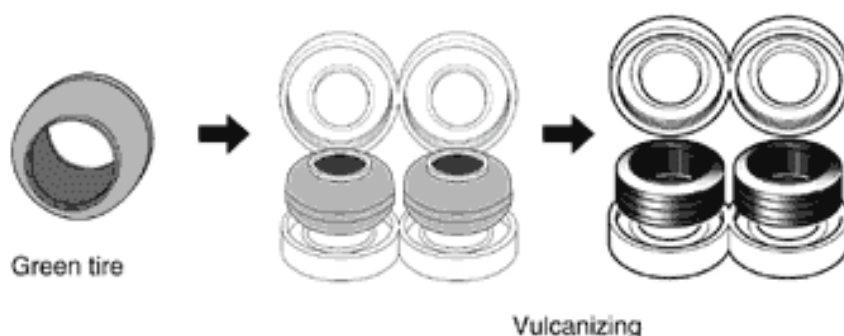


Figura 2.3.6 - Ilustração do processo de vulcanização. [6]

2.3.7. INSPEÇÃO FINAL

Após a cura dos pneus vulcanizados, eles são encaminhados para a área de acabamento final para serem efetuadas verificações finais de qualidade. Cada pneu é inspecionado manualmente e a rebarba (borracha) é removida aparando os pneus. As possíveis descobertas são marcadas com giz para decisões posteriores sobre retrabalho ou sucateamento do pneu em questão. Estas descobertas podem ter impacto na aparência do pneu ou no seu desempenho.

2.4. TECIDOS TÊXTEIS

Devido às suas características de deformação, os pneus pneumáticos conseguem fornecer mobilidade a um veículo em diversos tipos de terreno, como também em diferentes situações climáticas/ambientais (i.e., chuva ou neve). Logo, é necessário que o pneu esteja equipado com os materiais necessários e adequados para que tenha o melhor desempenho possível. O material têxtil utilizado na carcaça e nas cintas de reforço fornecem ao pneu pneumática uma grande parte da sua rigidez.

Em 1993, as fibras têxteis utilizadas na América do Norte seriam, aproximadamente, 55% poliéster, 43% nylon e 2% rayon. Enquanto no resto do mundo as fibras consistiam em 57% nylon, 24% poliéster e 19% rayon. Atualmente, os pneus PLT são majoritariamente radiais, onde a sua carcaça é produzida com fibras têxteis de poliéster, substituindo a utilização de nylon e rayon nesta mesma aplicação.

Ao explorar a composição de um pneu, a Figura 2.4.1 destaca a distribuição ponderada de materiais no processo de fabrico para veículos ligeiros. No entanto, quando nos voltamos para veículos pesados, é possível encontrar as informações correspondentes na Figura 2.4.2, e verificar que esse não constitui qualquer percentagem têxtil. Essa análise detalhada permite uma compreensão do papel dos tecidos têxteis na constituição global desses componentes essenciais.

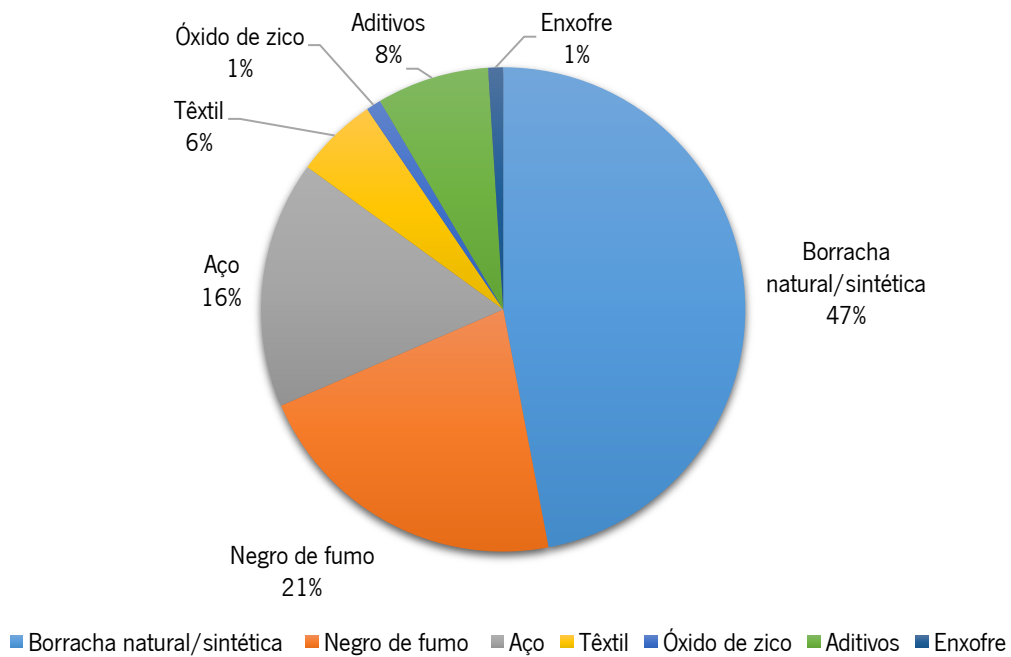


Figura 2.4.1 - A percentagem, em peso, de cada material no fabrico de um pneu ligeiro. [5]

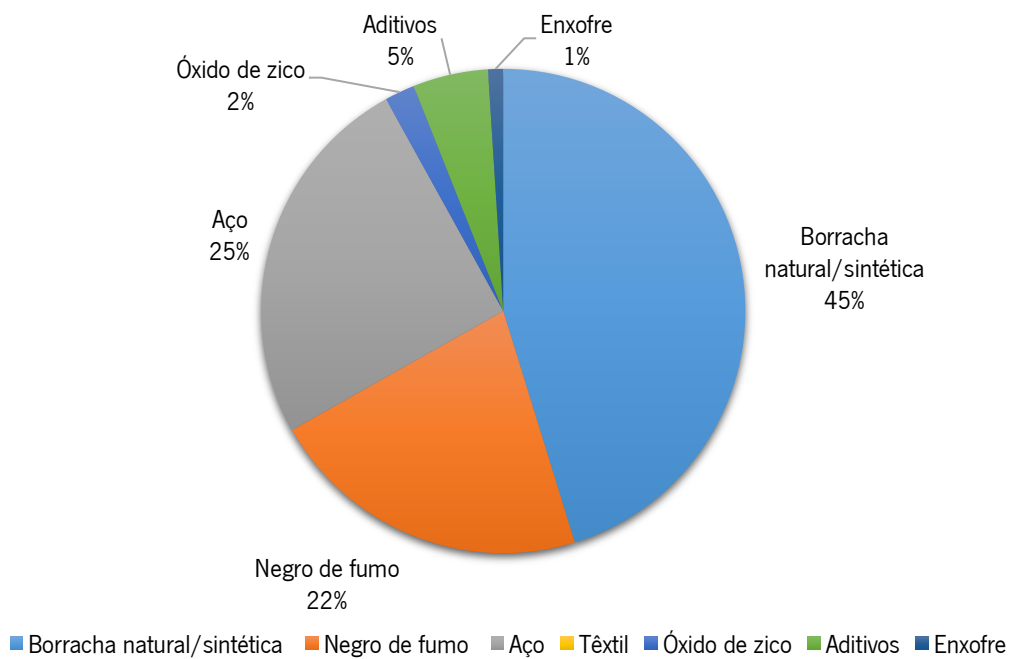


Figura 2.4.2 - - A percentagem, em peso, de cada material no fabrico de um pneu ligeiro. [5]

2.4.1. EVOLUÇÃO DOS TECIDOS TÊXTEIS NOS PNEUS PNEUMÁTICOS

Como já foi referido no capítulo 2.1, nos anos de 1880, foram introduzidos os primeiros pneus pneumáticos para bicicletas através do senhor J.B. Dunlop. Mais tarde, nos 1890s foram introduzidos nos automóveis. Para ambas as aplicações era utilizado um linho irlandês (Irish flax) que, devido ao seu custo elevadíssimo, foi rapidamente substituído pelo algodão. A utilização deste material prolongou-se até ao fim da segunda guerra mundial, sendo que antes do começo desse período, nos anos 1930s, estavam a ser desenvolvidas na França cordas de aço e de rayon. Na década de 40, o nylon tornou-se numa opção para pneus de cargos pesados, tal como em camiões e aviões, enquanto o rayon apresentava um melhor desempenho, em termos de manuseamento e estabilidade dimensional, para veículos ligeiros de passageiros. O poliéster foi introduzido pelo Goodyear nos anos 60 com o propósito de fornecer uma maior rigidez que o rayon e maior estabilidade dimensional que o nylon. Ao longo dos anos, estes tecidos têm sido melhorados através de alterações nos seus processos de fabrico, de modo a conseguirem cumprir com os novos requisitos exigidos pelos clientes. [1]

2.4.2. PROCESSO DE FABRICO DAS CORDAS TÊXTEIS

Atualmente, o processo de fabrico das cordas têxteis deve ser o mais detalhado e rigoroso possível para que sejam atingidos os parâmetros exigidos do funcionamento de o pneu, ver Tabela 2.4.

O processo de fabrico está então dividido em quatro etapas:

1. Processo de fiação;
2. Processo de torção;
3. Processo de tecelagem;
4. Processo de imersão.

Tabela 2.4 - Funções e requisitos das cordas têxteis. [1]

Função	Requisitos
• Manter a durabilidade contra impactos; • Suportar carga inercial e conter o gás inflado; • Fornecer rigidez para aceleração, curvas e travagens;	• Relação comprimento/diâmetro grande, ou seja, filamentos compridos; • Orientação axial elevada; • Flexibilidade lateral (Baixa rigidez à flexão);

Tabela 2.4 - Funções e requisitos das cordas têxteis. (Continuação)

Função	Requisitos
Fornecer estabilidade dimensional para manuseamento, viagem e uniformidade do veículo;	Enrolamento da corda para que os filamentos exerçam força axial em conjunto com os restantes filamentos no conjunto/feixe.

O primeiro processo, designado por fiação, consiste na transformação de fibras em fio e pode ser realizado através de cinco métodos distintos. O método húmido, seco, fundido, gel e de dispersão.

De seguida, os fios passam para o processo de torção, onde uma aglomeração de fios são torcidos na direção do eixo “Z” e, posteriormente torcidos juntamente na direção “S”, formando uma corda. Esta torção previne possíveis quebras dos filamentos, resistência a danos causados por abrasão, uma resistência à fadiga superior, e uma maior facilidade na operacionalidade do processo de fabrico seguinte. No processo de torção, é necessário ter em conta as características desejadas para a funcionalidade do material, uma vez que o nível de torção está diretamente relacionado com as propriedades mecânicas do material. Segundo o estudo de *Aytaç et al*, quanto maior forem os níveis de torção, menor será a força de rotura e a rigidez. Por outro lado, maior será a deformação de rotura e a energia de rotura absorvida.

Finalizado o processo de torção, as cordas são transportadas para o processo de tecelagem, onde serão convertidas em tecidos. Esta conversão é alcançada através do entrelaçamento das cordas de urdidura (cordas longitudinais) e as cordas de trama (cordas transversais).

O último processo no fabrico de reforços têxteis é o de imersão. Neste processo, o tecido é emerso num banho e posteriormente exposto a um tratamento térmico, com o objetivo de ganhar certas propriedades, que mais tarde irão garantir uma boa adesão entre o tecido e a borracha.

2.4.3. CARACTERÍSTICAS DOS TECIDOS TÊXTEIS

Atualmente, cinco tipos de materiais ocupam maior parte do mercado têxtil: o nylon, rayon, poliéster, aramida e aço.

O elevado módulo do aço e da aramida faz com que estes materiais sejam indicados para utilização em cintas metálicas de pneus radiais e em carcaças de uma só camada para pneus radiais grandes.

Relativamente ao rayon, este é utilizado em carcaças e cintas metálicas de pneus radiais. Contudo, não é utilizado em pneus de maior dimensão, condicionados a cargas pesadas e com longos ciclos de vida, devido à sua falta de rigidez em comparação com os outros materiais.

O poliéster é uma excelente opção para o tecido têxtil na carcaça em pneus PLT que utilizam cintas de aço. Por outro lado, este tipo de pneus falha em termos de dureza e resistência ao calor que são necessários em pneus de maior escala, em que o nylon apresenta os melhores resultados. Ambos o poliéster e nylon apresentam uma falta de rigidez à flexão, que os leva a ser considerados como fracas alternativas na aplicação em cintas de pneus radiais. O seu uso é mais comum na carcaça do pneu.

Na Tabela 2.5 é feita uma comparação da performance dos cinco materiais em relação a um determinado conjunto de características.

Tabela 2.5 - Análise e comparação da capacidade de cada componente têxtil em relação a diferentes parâmetros. [1]

Estabilidade dimensional (na carcaça)	
Uniformidade na cura	Rayon > Poliéster > Nylon
Aparência (Reentrâncias na parede lateral)	Rayon > Poliéster > Nylon
Rigidez dinâmica (direção)	Rayon > Poliéster > Nylon
Manchas planas	Rayon > Poliéster > Nylon
Durabilidade (na carcaça)	
Resistência à fadiga/geração de calor	Nylon > Poliéster > Rayon
Resistência ao impacto (Dureza)	Nylon > Poliéster > Rayon
Pneus de alta velocidade/Pneus <i>run-flat</i>	Rayon > Poliéster
Resistência/Rigidez/Força	Aramida > Aço > Nylon > Poliéster > Rayon
Módulo (rigidez)	Aramida > Aço > Rayon > Poliéster > Nylon

Tabela 2.5 - Análise e comparação da capacidade de cada componente têxtil em relação a diferentes parâmetros. (Continuação)

Durabilidade (na carcaça)	
Alongamento	Nylon > Poliéster > Rayon > Aço = Aramida
Fadiga de compressão	Nylon > Poliéster > Rayon > Aço > Aramida
Resistência química	Aramida > Nylon > Rayon > Poliéster > Aço

O nylon é um dos polímeros sintéticos mais utilizados no mundo. A designação deste material corresponde ao PA-x ou PA-x.y, onde “x” representa o número de átomos de carbono e “y” representa o número de átomos de azoto. Industrialmente, o tipo de nylon mais utilizado é o 6 ou 6.6.

Este material consiste em cadeias longas de polímeros que podem ser produzidos por *continuous spinning* ou por *melt spinning*. É utilizado em aplicações que requerem rigidez, resistência química, durabilidade, propriedades de insulação elétrica, resistência à abrasão, baixa resistência ao atrito e capacidades auto lubrificantes. Sendo assim, as tiras de nylon são maioritariamente utilizadas na produção de cap ply e *overlay ply*.

Tal como o nylon, o poliéster consiste em cadeias longas de polímeros sintéticos, produzidos pelos métodos de *continuous* e *melt spinning*. São utilizados nas telas têxteis de pneus radiais. Este tipo de material apresenta uma alta resistência com baixo encolhimento e baixo crescimento de serviço, um conjunto de baixo calor e também um baixo custo de aquisição e fabrico. Contudo, não é tão resistente ao calor como o nylon e o rayon.

A aramida é uma fibra sintética de alta tenacidade produzida por *solvent spinning* (fiação solvente). É mais resistente que o nylon e o poliéster (por volta de 2 ou 3 vezes mais) e é utilizado nas cintas metálicas como uma alternativa às cordas de aço. Contudo, o facto de ser um material de custo elevado e com constrangimentos no seu processamento, especialmente pela dificuldade de corte, reduzem a possibilidade de serem mais utilizados que os outros materiais de reforço.

O rayon é uma tela têxtil de celulose produzida por *wet spinning* (fiação molhada). As vantagens da utilização deste material de reforço passam por: estabilidade dimensional; resistência ao calor; boas características de bom manuseamento. Por outro lado, é um material caro, sensível à humidade e apresenta problemas ambientais no seu processo de fabrico.

Atualmente, são também utilizados cordas híbridas como material de reforço. Estas cordas resultam da combinação de dois ou mais tipos de fios entrelaçados juntamente. Esta combinação irá proporcionar novas e melhores propriedades ao material, como também reduz o custo da produção do material. Temos o exemplo do reforço aramida-nylon que apresenta propriedades superiores ao reforço aramida-aramida, do qual apresenta uma melhoria na resistência à fadiga, um alongamento superior, menor custo de material primário e controlo da contração. Já em relação à corda nylon-nylon, o híbrido apresenta uma contração menor, melhoria na estabilidade do manuseamento, performance de velocidade e resistência ao enrolamento. A Figura 2.4.3 apresenta a estrutura de uma corda híbrida. [1]

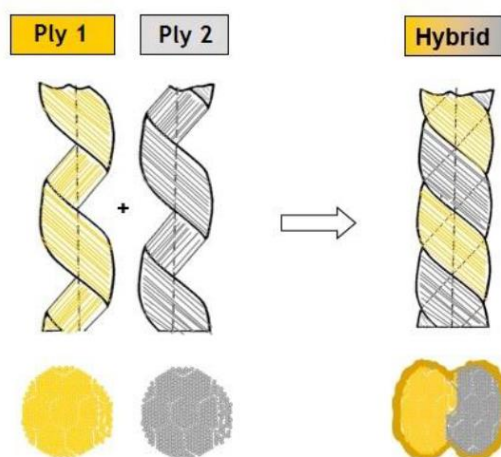


Figura 2.4.3 - Estrutura de uma corda híbrida.

2.5. ADESÃO CORDA-BORRACHA

O principal foco da adesão da corda é inibir a separação da interface corda – borracha. Este objetivo pode ser alcançado através dos procedimentos de imersão. O adesivo utilizado proporciona uma ligação química entre a borracha e a superfície da corda e um *interlocking* mecânico que ocorre quando a borracha preenche os espaços vazios entre as cordas. Ao ser aplicado, o adesivo deve garantir uma alta resistência à fadiga, nenhuma detioração química das cordas, compatibilidade com os diversos tipos de borracha e uma rápida “formação” das ligações entre as cordas e a borracha. Contudo, para o adesivo ter o seu devido efeito, este necessita de acomodar as diferenças entre os dois materiais, tal como a alta polaridade dos polímeros em contraste com a baixa polaridade da borracha. Ou o alto módulo das cordas contra o baixo módulo da borracha que é minimizado pelo módulo intermédio da camada de adesivo.

2.6. TIRAS DE CAP PLY

As tiras de cap ply são uma camada de reforço essencial nos pneus, projetadas para estabilizar a carcaça e melhorar o desempenho em condições extremas. Fabricadas a partir de uma combinação de cordas têxteis e borracha, essas tiras formam cintas têxteis altamente resistentes, que aumentam a durabilidade e a estabilidade do pneu, especialmente em altas velocidades.

A utilização de materiais avançados como nylon, poliéster e fibras de aramida contribui para melhorar as propriedades de resistência ao calor e à deformação em pneus que enfrentam condições de uso mais severas, como em rodovias ou pistas de corrida.

As tiras de cap ply oferecem os seguintes benefícios aos pneus:

- **Estabilidade dimensional:** Limitam a expansão da carcaça em altas velocidades, evitando deformações e mantendo a estabilidade da banda de rodagem.
- **Maior resistência ao calor:** Dissipam o calor gerado pelo atrito em pneus de alta performance, prolongando sua vida útil.
- **Prevenção da separação das cintas:** Reforçam a ligação entre as cintas metálicas e a borracha, reduzindo o risco de separação em condições extremas.
- **Redução de risco de explosão:** Ajudam a evitar o colapso dos pneus em altas velocidades e cargas intensas, especialmente em corridas.
- **Melhora no conforto e desempenho:** Reduzem vibrações, aumentam a rigidez da banda de rodagem e proporcionam uma condução mais suave e eficiente.

2.6.1. PROCESSO DE FABRICO DAS TIRAS DE CAP PLY

Existem dois métodos distintos para a produção das tiras de cap ply, sendo estes os seguintes:

- Calandragem do tecido e posteriormente o corte das tiras nas *siltes* (cortadores) e *mini-slitters* (requer a utilização de três equipamentos distintos).
- Utilização do equipamento designado por cap-strips (Simplifica o método anterior para uma só máquina).

Tendo em conta o tema do projeto, apenas será abordado o segundo processo de fabrico das tiras de cap ply. O esquema na Figura 2.6.1 representa a ordem do processo de fabrico utilizado nas cap-strips.

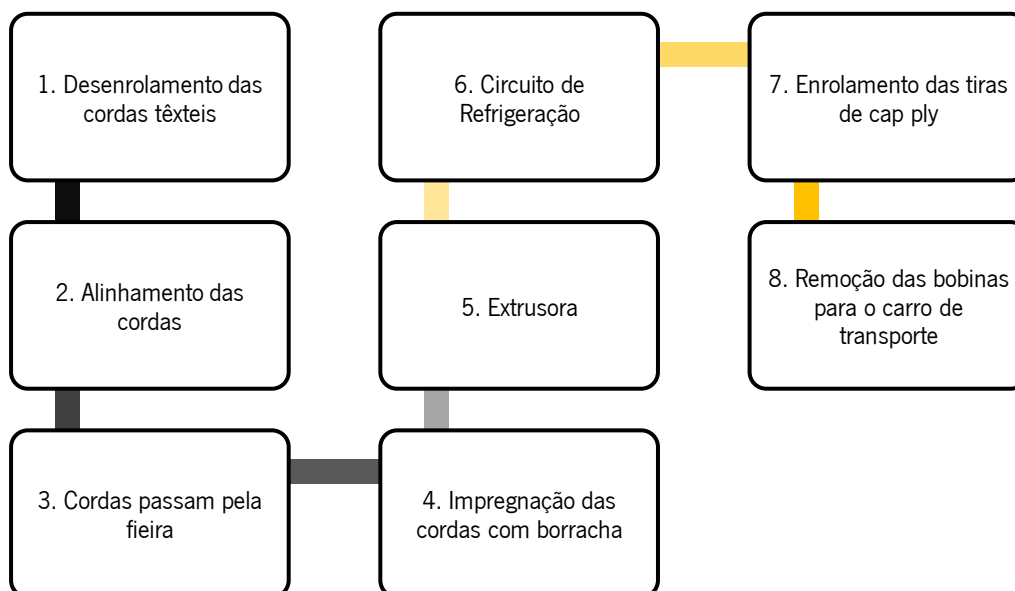


Figura 2.6.1 - Etapas que englobam o processo de produção de tiras de cap ply na Cap-strip.

A primeira etapa do processo de fabrico passa pelo desenrolamento das cordas têxteis de nylon/híbridas no *Creele* (Nome atribuído ao local onde se encontram as bobinas enroladas com as cordas). Ao longo deste processo é necessário efetuar o controlo da tensão de desenrolamento, de forma a evitar possíveis quebras das cordas ou a “confusão” de um desenrolamento instantâneo das cordas nas bobinas. Este controlo é realizado pelo momento de travagem gerado por um controlador de tensão mecânico, na rotação da bobina.

Na etapa 2, dependentemente do material a ser fabricado (quer seja com cordas de nylon ou cordas híbridas), o *Creele* será carregado de acordo com uma determinada ordem. Posteriormente as cordas, ao serem desenroladas, são também direcionadas e enfiadas dentro de uma placa perfurada. Esta placa irá alinhar as cordas uniformemente, para depois entrarem no cabeçote e de seguida na fieira.

De seguida, é feita a entrada das cordas na fieira, que é utilizada para guiar as cordas, e dar-lhes o espaçamento correto e permitir que estas sejam impregnadas. Esta ferramenta é composta por furos e ranhuras. Nos furos entram as cordas têxteis, e nas ranhuras que entra borracha. A fieira pode diferir consoante o material a ser utilizado.

A etapa 4 consiste na produção das tiras de cap ply através da impregnação das cordas têxteis com a borracha, no cabeçote da máquina.

Posteriormente, na etapa 5, através do uso de uma extrusora (conectada lateralmente ao cabeçote), a borracha é aquecida e encaminhada para dentro do cabeçote, onde passará pela fieira. Ao entrar na fieira, a borracha irá cobrir as cordas têxteis.

Como a impregnação das cordas acontece a temperaturas elevadas, é necessário efetuar o arrefecimento das mesmas. A etapa 6 consiste então neste propósito. Ao saírem da fieira, as tiras passam por um circuito de refrigeração que irá reduzir a temperatura das tiras para os $20\pm5^{\circ}\text{C}$. O fluido de refrigeração utilizado é água.

Na sétima etapa, após o arrefecimento, as tiras passam para a secção de enrolamento, do qual cada tira será enrolada em bobinas individuais de acordo com uma tensão de enrolamento que deve ser controlada (neste momento não é), de forma a prevenir quaisquer falha/avaria no processo. No final de cada enrolamento, cada bobina possui entre 1800 e 2700m de cap ply.

Por fim, é estabelecida a metragem pretendida de cap ply, a bobina é removida e transferida para o carro de transporte. Este carro está encarregue de transportar as tiras para as estações seguintes envolvidas na construção do pneu, nas máquinas PU (*Production Unit*).

A Tabela 2.6 apresenta os parâmetros gerais do processo de fabrico de cap ply para os seguintes materiais (os mais utilizados): nylon e híbrido (aramida + nylon). Adicionalmente, apresenta o número de cordas por tira (EPDM) e a espessura da tira.

Tabela 2.6 - Parâmetros gerais do processo de fabrico de tiras de cap ply que utilizam cordas têxteis de nylon ou híbridas (aramida mais nylon).

Corda	EPDM	Espessura da tira de cap ply (mm)	Velocidade de produção (Cap-strips 1,2 e 3) (m/min)	Pressão da extrusora (bar)	Pressão do gear pump (bar)
Nylon	80/dm (8 cordas)	0,75	55	50	140-200
Híbrido (aramida + nylon)	90/dm (9 cordas)	1,1	45	40	180-250

2.7. ANÁLISE MECÂNICA PARA O SISTEMA DE TENSÃO NO ENROLAMENTO FILAMENTAR

Um sistema de tensão adequado e o controle da tensão são elementos significativos para alcançar um produto de enrolamento de qualidade. Este tipo de controle permite o seguinte:

- O alinhamento das tiras em ordem;
- A distribuição uniforme de tensão entre as tiras;
- A obtenção de um produto de enrolamento de qualidade.

Para uma melhor compreensão dos princípios de um sistema de medição, foi conduzida uma pesquisa. Esta pesquisa identificou um projeto desenvolvido por três diferentes autores, que será utilizado como base fundamental para a análise mecânica do sistema de enrolamento.

Xu Pingan estabeleceu um novo sistema de controle de tensão preciso em sua dissertação, onde buscou controlar a tensão do filamento de forma precisa ao longo de um processo de enrolamento. Vamos utilizar alguns dos seus princípios para compreender melhor o que realmente acontece durante o enrolamento de tiras ou filamentos.

Ren Qite projetou e configurou um sistema de controle de tensão em sua dissertação. Ele procurou utilizar o princípio do controle de um sistema de malha fechada, no qual um PID é a estratégia de controle. Uma vez que também se pretende utilizar um sistema de controle de malha fechada no projeto desta dissertação, este trabalho de *Ren Qite* poderá servir como base para aprimorar ideias no desenvolvimento dos protótipos.

Jia Xiaoning utilizou um microcomputador de controle de fricção estática de aplicação de potência e tensão, que utiliza o motor de binário conectado diretamente ao eixo do grupo de fios para exercer a tensão original e controlá-la no microcomputador [8].

2.7.1. PRINCÍPIOS OPERACIONAIS

Um sistema de controle da tensão de enrolamento inclui os seguintes componentes, que por sua vez podem ser observados na Figura 2.7.1.

- O desenrolamento;
- A aquisição de tensão: Testa a tensão no tempo real e transmite os resultados para o parte de controle;

- O controle: Indica para calcular com as informações transmitidas na parte de teste, tendo vários julgamentos de controle, transmitindo o sinal de ajuste ao dispositivo de produção de resistência correspondente e, finalmente, atingindo o objetivo de ajustar a tensão do enrolamento. O módulo do controle inclui o controlador e o executor do controle de tensão.
- As instalações auxiliares: Com base nas características dos sensores de velocidade de resposta rápida, alta precisão e pequeno deslocamento.

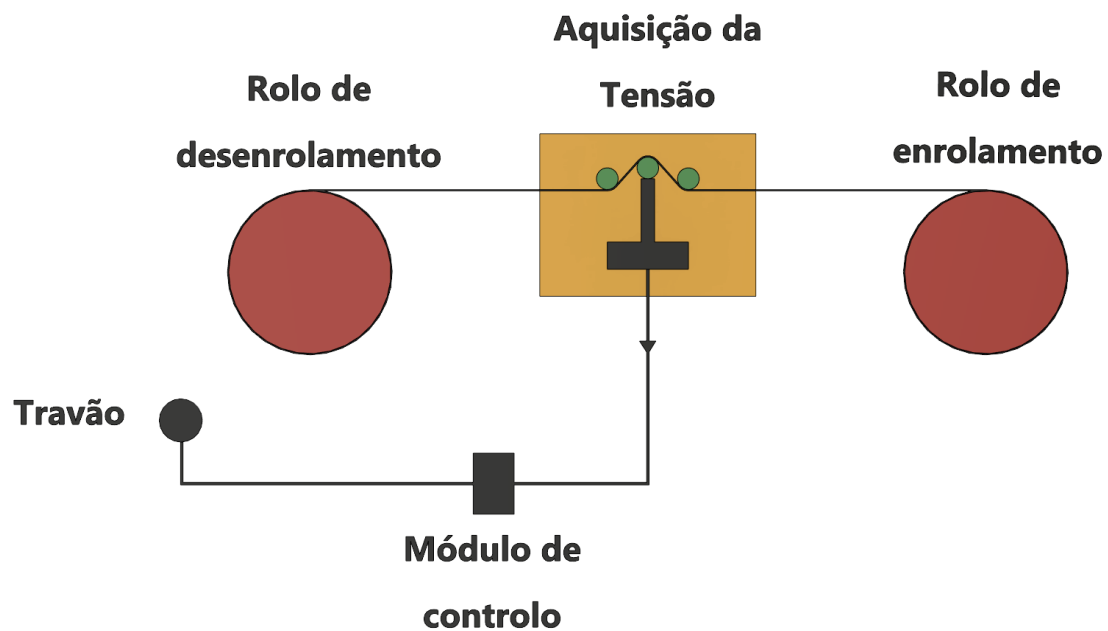


Figura 2.7.1 - Composição de um sistema de controle de tensão.

Entre o mandril e o rolo de enrolamento, diversos rolos de guiamento controlam a direção do filamento de enrolamento, permitindo um movimento mais firme e controlado.

2.7.2. CONTROLO DE SISTEMA DE MALHA ABERTA OU FECHADA

Num controlo de sistema de malha aberta recorre-se ao raio do rolo de enrolamento para testar a tensão com uma estrutura relativamente simples. Enquanto num sistema de malha fechada, um sensor de força é usado para obter a tensão em tempo real e realimentar o sinal para alcançar o sistema de controlo de circuito fechado.

2.7.3. ANÁLISE MECÂNICA DO SISTEMA DE TENSÃO DE ENROLAMENTO

Fatores que afetam a estabilidade da tensão:

- Mudança no raio de enrolamento;
- Atrito;
- Conteúdo de resina.

2.7.4. ANÁLISE MECÂNICA DO MECANISMO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO

A aquisição de dados periódica adequada para os dados em tempo real da tensão pode melhorar a precisão do controle de forma eficaz. Um dos métodos mais utilizados para adquirir o valor da tensão está representando na Figura 2.7.2.

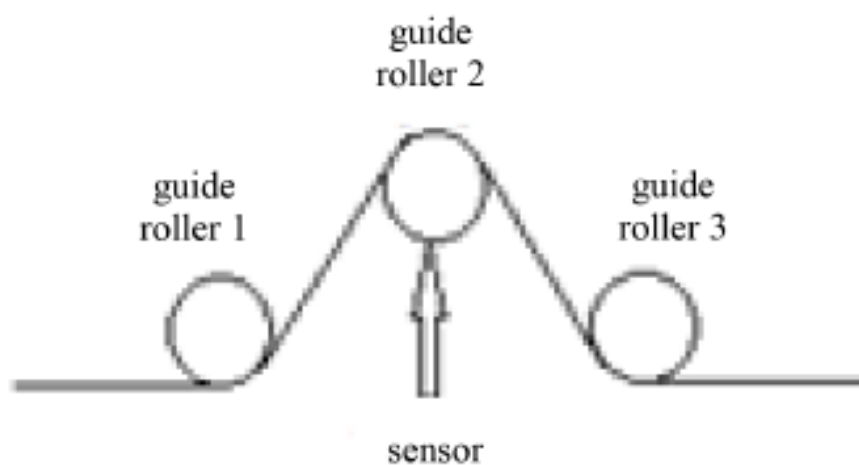


Figura 2.7.2 - Método de aquisição da tensão de enrolamento utilizando três rolos. Sendo que o rolo número 2 é o local onde irá atuar o sensor.[8]

Os três rolamentos de guia são utilizados para medir a tensão na forma de uma transmissão de força. A tensão será transformada em ação de pressão no rolamento 2 (o do meio) e será testada pelo sensor de força. Os resultados serão enviados de volta/realimentados para o controlador após receber o sinal correspondente, logo, constituindo o *feedback input* do sistema de malha fechada [8]. As forças presentes neste tipo sistema de medição podem ser representadas da seguinte forma, ver Figura 2.7.3.

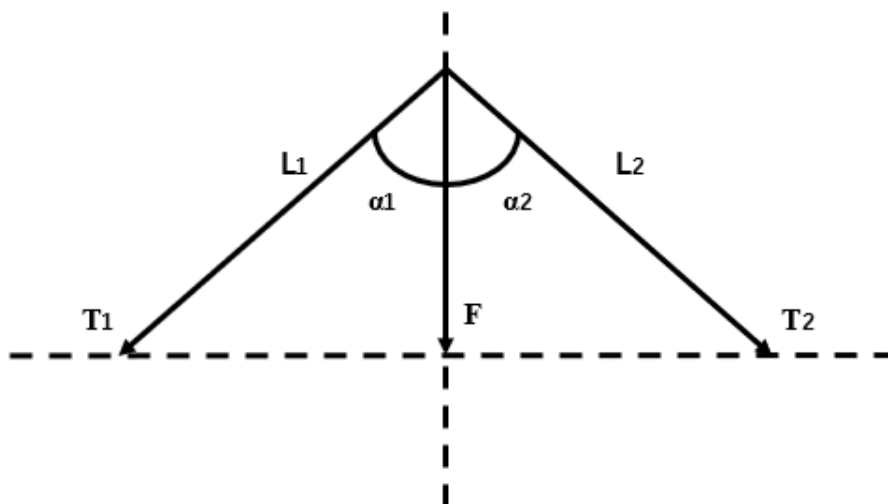


Figura 2.7.3 – Esquema e análise das variáveis presentes no sistema de aquisição de tensão.

Onde:

- L_1 = comprimento do filamento do rolo guia 1 a 2;
- L_2 = comprimento do filamento do rolo guia 2 a 3;
- T_1 = Tensão do filamento entre o rolo 1 e 2.
- T_2 = Tensão do filamento entre o rolo 2 e 3.
- α_1 e α_2 = ângulos entre o filamento e o eixo horizontal (ou outra linha de referência) nos pontos onde as tensões T_1 e T_2 são medidas.
- M_o = Binário adicional. Pode representar um binário de resistência, um binário externo aplicado ou qualquer outro tipo de momento que afete o equilíbrio do sistema. Nesta situação representa o binário de fricção estática.

Quando, o rolo guia do meio (2) atinge um equilíbrio, o seu equilíbrio dinâmico corresponde à seguinte equação:

$$J_w + T_1 L_1 \cos \alpha_1 + M_o = T_2 L_2 \cos \alpha_2 \quad (2.1)$$

O binário de fricção estática do rolo de guia 2, M_o , pode ser ignorado. Logo, a equação passa a ficar:

$$J_w + T_1 L_1 \cos \alpha_1 = T_2 L_2 \cos \alpha_2 \quad (2.2)$$

Quando os dois lados do rolo de guia 2 têm mudanças na tensão devido à mudança de velocidade da tira, a pressão no rolo de guia 2 pode ser calculada através da seguinte equação:

$$F = T_1 \sin \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2 - F_0 = (T_1 + T_2) \sin \alpha_2 - F_0 \quad (2.3)$$

Onde:

- F_0 = Força constante, que pode ser devido à pré-tensão no sistema, fricção ou outras forças estáticas atuando no sistema.

Esta simplificação mostra que a força vertical total no sistema de rolos guia é a soma dos componentes verticais das tensões, assumindo ângulos iguais e forças pré-existentes negligenciáveis.

2.8. TERMOGRAFIA

2.8.1. IMPACTO DA CARGA TÉRMICA NA ADESÃO DAS TIRAS DE CAP PLY

No processo de enrolamento das tiras de cap ply, à medida que cada camada se sobrepõe, ocorre a aderência indesejada entre elas, consequente do processo de fabrico levado ao limite da produtividade. A adesão destas camadas é um fator crucial, especialmente em fases subsequentes da produção dos pneus, onde o desenrolamento das bobinas é necessário. Como mencionado anteriormente, a tensão de enrolamento desempenha um papel fundamental para garantir o correto enrolamento das tiras de cap ply. O uso de tensões excessivas pode resultar em uma adesão demasiadamente forte entre as tiras, enquanto tensões inferiores ao normal podem ocasionar folgas excessivas. Portanto, o objetivo deste estudo foca-se na medição da tensão de enrolamento das tiras de cap ply. No entanto, a adesão entre as camadas não é afetada apenas por esse parâmetro.

Consequência do processo de fabrico as tiras vêm com temperaturas ainda elevadas, pelo que durante o processo de enrolamento, a geração de calor entre as camadas pode influenciar e aumentar a adesão entre as tiras. Caso essa geração de calor seja excessiva, a adesão entre as camadas pode se tornar demasiadamente forte, comprometendo o desenrolamento eficiente nas etapas posteriores da produção. Importa assim também avaliar a variação da temperatura das tiras durante o enrolamento. Para investigar o impacto da carga térmica no processo de enrolamento, foi realizado um estudo termográfico utilizando uma câmara de imagem térmica.

2.8.2. TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS

A termografia de infravermelhos consiste em medir distribuição da energia térmica radiante (calor) emitida por uma superfície alvo e convertê-la num mapa de diferenças de intensidade de radiação, conhecido como termograma.

A energia térmica está presente em várias formas, seja através do atrito, perdas de energia, propriedades inerentes ao processo ou uma combinação desses fatores. A tecnologia termográfica é ideal para estudar a distribuição da energia térmica, pois fornece imagens térmicas abrangentes de uma máquina ou componente específico sem a necessidade de acessórios físicos. Além disso, requer pouca configuração e fornece resultados num curto período de tempo. Os resultados obtidos podem ser exportados para o computador a fim de serem analisados [1].

2.8.2.1. CÂMARA DE IMAGEM TÉRMICA

As câmaras termográficas operam com base num sistema de dois sensores térmicos de radiação infravermelha, capazes de detetar a radiação térmica em comprimentos de onda superiores a 2500 nm. Estas câmaras possuem um funcionamento semelhante ao dos sensores de imagem utilizados para captar imagens de luz visível.

A deteção da radiação térmica é possível através do uso de uma matriz de sensores conhecida como matriz de plano focal. Esta matriz de sensores é responsável por captar o calor emitido por uma pessoa, local ou objeto na forma de radiação infravermelha, e então transmitir esses dados para um sensor de câmara. Ao detetar as emissões térmicas infravermelhas provenientes da superfície de um objeto, esses dados são apresentados num monitor, como um gráfico impresso, permitindo uma interpretação direta dos dados da imagem térmica. [9]

A câmara termográfica é capaz de gerar uma imagem de alta-definição de objetos com base nas suas temperaturas. Nessa imagem, os objetos mais quentes aparecem com maior brilho, enquanto os objetos mais frios aparecem mais escuros. Geralmente, cores como o vermelho estão associadas a temperaturas mais elevadas, enquanto cores como o azul estão associadas a temperaturas mais baixas. [2], ver Figura 2.8.1.

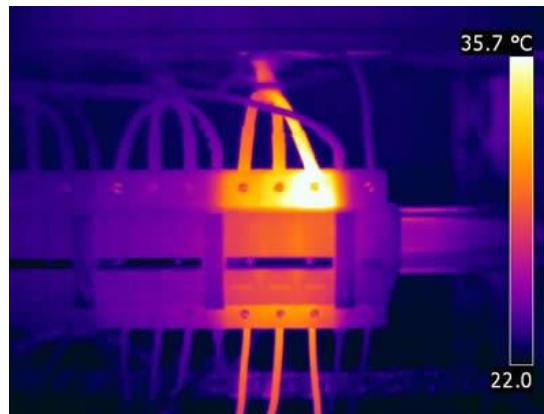


Figura 2.8.1 - Demonstração gráfica da variação de temperaturas (Quanto mais clara for a cor, maior é a temperatura que o leitor está a medir).

A câmara de imagem térmica utilizada foi a Fluke Ti300+, ver Figura 2.8.2. Este equipamento foi disponibilizado pela empresa Continental Mabor. As especificações do equipamento seguem-se na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Especificações da câmara de imagem térmica, Fluke Ti300+. [3]

Características Principais

Resolução infravermelhos	320 x 240 (76 800 pixels).
Distância mínima de foco	15 cm.
Amplitude mínima (modo manual)	2.0 °C.
Amplitude mínima (modo automático)	3.0 °C.
Sensibilidade térmica	≤ 0.075 °C a 30 °C de temperatura alvo.
Medidor de distância a laser	Sim. (Calcula a distância até ao alvo para imagens com foco preciso e exibe a distância na tela).

Medição da temperatura

Faixa de medição de temperatura	(Não calibrado abaixo de -10 °C) -20°C até 650 °C.
Precisão	± 2 °C ou 2% (a 25°C nominal, o que for maior).
Correção de emissividade na tela	Sim.

Especificações gerais

Banda espectral infravermelha	7.5 μ m a 14 μ m (onda longa).
Temperatura operacional	-10 °C a 50 °C.
Umidade relativa	10% a 95% sem condensação .
Medição de temperatura de ponto central	Sim.
Temperatura do ponto	Marcadores de pontos quentes e frios.



Figura 2.8.2 – Câmara de imagem térmica utilizada no ensaio de termografia, Fluke Ti300+.

3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

3.1.1. CONTINENTAL AG

A Continental AG é uma empresa alemã líder no setor automotivo, fundada em 1871 em Hanover, na Alemanha, sob o nome de “*Continental-Caoutchouc-und Gutta-Percha Compagnie*”. Começou com a produção de produtos de borracha, tal como calçados e pneus maciços para bicicletas e carruagens. Em 1892, tornou-se na primeira empresa alemã a fabricar pneus pneumáticos para bicicletas e em 1898 já conta com a produção de pneus de piso liso para automóveis, dando então início a um processo de evolução de pneus que ocorre até hoje.

Com o crescimento da indústria automóvel e consequente aumento da exigência por partes clientes foi necessário desenvolver novas tecnologias e tipos de pneus. Em 1904 a Continental foi pioneira no desenvolvimento e produção de pneus para automóveis com desenho de piso. No ano seguinte, surge a produção de pneus antiderrapantes para utilização em terrenos cobertos com neve. E em 1908, desenvolveram uma jante desmontável para automóveis ligeiros, facilitando todo o processo da substituição das mesmas. Com o tempo, a Continental AG expandiu a sua área de negócio para incluir produtos automotivos, como pneus para automóveis e motocicletas, como também entra na produção de peças automotivas, sistemas eletrônicos e tecnologia de sensores.

Durante a segunda guerra mundial, a empresa passa de uma cultura corporativa para uma estrutura liberal com base no modelo imposto pelo regime Nazi. Neste período o principal foco na produção era desenvolver pneus para máquinas de guerra alemãs. Após a guerra, a Continental consegue recuperar rapidamente, e progressivamente expande os seus negócios para todo o mundo.

Entre 1931 e 1960, a Continental envolveu-se no mundo desportivo, sendo que diversos veículos de competição equipados com pneus Continental ganharam diversas provas internacionais. Em 1960, dá início à produção em série de pneus automóveis e torna-se num dos principais fabricantes de pneus do mundo, com operações em vários países. Desde então, a Continental continuou a crescer a sua posição na Europa, América do Norte e Ásia e em 2007 opta por adquirir o grupo *Siemens VDO Automotive AG*, elevando o estatuto da empresa como um dos cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel.

Atualmente, a Continental AG conta com operações em mais de sessenta países e tem aproximadamente duzentos e quarenta mil funcionários. Em Portugal, a Continental conta com seis filiais, ver Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Filiais pertencentes ao grupo Continental AG, em Portugal.

Continental Mabor	Fabrico de pneus para veículos de passageiros e agrícolas.
Continental Pneus de Portugal	Comercialização de pneus produzidos pela Continental.
Continental Indústria Têxtil do Ave	Fabrico de telas para a indústria de pneus.
Continental Engineering Services	Desenvolvimento de soluções para condução autónoma.
Continental Lemmerz	Montagem de roda (jante e pneu).
Continental Advanced Antenna	Produção de antenas.

3.1.2. CONTINENTAL MABOR

A empresa Mabor – Manufatura Nacional de Borracha, S.A., deu início à sua produção em 1946. Tornou-se na primeira fábrica de produção de pneus em Portugal, com auxílio técnico da empresa norte americana, General Tire, sediada no estado de Ohio. [10]

Já a Continental Mabor só surge mais tarde, no mês de dezembro de 1989, como resultado de uma joint-venture entre a empresa nacional Mabor e a empresa multinacional Continental AG (40% - Mabor; 60% - Continental). A empresa situa-se na localidade de Lousado, Vila Nova de Famalicão.

Em julho de 1990 dá o seu arranque industrial e começa o programa de reestruturação, transformando as instalações da Mabor na mais moderna das 21 unidades de Continental existentes nesta época. Este projeto tinha como objetivos a produção de pneus para viaturas de passageiros e comerciais ligeiros, atingir uma média diária de 18.000 pneus/dia e a exportação de uma grande percentagem destes pneus. Em 1993, por aquisição do restante capital, a Continental torna-se na única acionista da empresa.

Entre 2010 e 2015, com o desenvolvimento/crescimento da fábrica, a empresa decidiu expandir o seu território criando a ContiSeal e um novo armazém para produtos/pneus acabados (APA) . Em 2013 deu início à produção de pneus de ultra high performance e, em 2016 começa com a produção de pneus de agrícolas, tornando-se numa das únicas fábricas especialistas na produção de estes pneus, como é o caso das fábricas na Alemanha, República Checa, Malásia e Sri Lanka.

De forma a garantir o seu sucesso e constante crescimento, a Continental Mabor definiu uma visão e uma missão. A visão da empresa consiste em ser LIDER:

- **L**ousado eficiente;
- **I**nova e antecipa as necessidades dos clientes;
- **D**esenvolve produtos de alta tecnologia;
- **E**xcelente no conhecimento e nos processos;
- **R**entável de forma sustentada.

Relativamente á sua missão, a Continental Mabor foca-se nos seguintes objetivos:

- Ser uma empresa responsável, líder e parceira de eleição;
- Desenvolvimento, produção e comercialização de soluções tecnológicas indispensáveis;
- Manter elevados padrões de qualidade;
- Tornar a mobilidade e o transporte mais sustentáveis, seguros, confortáveis, personalizados e acessíveis.

3.1.2.1. PROCESSO PRODUTIVO NA CONTINENTAL MABOR

A produção de um pneu é algo complexo e que requiere extrema atenção e detalhe. Logo, para garantir a melhor qualidade e eficácia possível no processo produtivo, cada fase de produção é atribuída a um departamento. A Tabela 3.2 descreve a função dos cinco departamentos presentes na fábrica de pneus PLT (*Passenger and Light Truck*).

Paralelemente aos cinco departamentos, existe um outro que é responsável por todos os processos de fabrico e pelas ferramentas e moldes utilizados na produção. Este departamento designa-se por DATP (Departamento de Apoio Técnico à Produção).

Esta dissertação foi desenvolvida juntamente com os engenheiros do departamento de manutenção preventiva da engenharia-3. Este departamento está relacionado com a fase de preparação e construção do pneu.

Tabela 3.2 - Descrição geral de o processo produtivo de cada departamento na Continental Mabor.

Departamento	Descrição
DP. 1 – Misturação	Produção dos compostos utilizados na preparação dos componentes do pneu.
DP. 2 – Preparação (Frio e Quente)	Preparação a frio: Produção de telas têxteis, <i>breakers</i> (cintas metálicas), tiras de cap ply e camada estanque, através das calandras, <i>innerliners</i>, cap-strips e máquinas de corte. Preparação a quente: Produção de talões, paredes de reforço e pisos. As máquinas utilizadas neste setor incluem as extrusoras, CT's e Apex's.
DP. 3 – Construção	Construção do “pneu em verde”. Os módulos de construção são compostos por duas máquinas: • <i>Karkasse Machine</i> (KM): Construção da carcaça do pneu; • <i>Production Unit</i>: Anexam à carcaça os <i>breakers</i>, as tiras de cap ply e o piso.
DP. 4 - Vulcanização	Neste departamento, o pneu é colocado em prensas e é sujeito a pressões e temperaturas elevadas. Através dos ciclos de pressão e temperatura é efetuada a cura da borracha, conferindo a forma e as propriedades finais do pneu.
DP. 5 – Inspeção Final	Inspeção visual dos pneus. Testes de uniformidade, geometria e balanceamento. Adicionalmente, são realizadas marcações nos pneus, previamente especificadas pelo cliente, de modo a facilitar a montagem do pneu na jante.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A medição da tensão das tiras de cap ply é um elemento considerado como crucial na indústria de pneus, uma vez que a incorreta monitorização da mesma pode induzir a um desperdício de um conjunto de material, como a borracha e o nylon. Este desperdício é um resultado de possíveis falhas no enrolamento das tiras. Essas falhas podem surgir devido a uma adesão excessiva ou mínima entre camadas de tiras de cap ply. A Continental Mabor pretende evitar este desperdício e automatizar todos os seus processos. Daí vem o problema proposto pela empresa, que consiste no desenvolvimento conceitual de um sistema de medição destinado a avaliar a tensão de enrolamento das tiras de cap ply e, simultaneamente, controlar este processo com base nas informações obtidas. Este estudo virá a, possivelmente, representar um marco significativo para aprimorar a eficiência operacional e a qualidade do produto final nas máquinas Cap-strips.

Numa análise preliminar do estado atual do equipamento, constata-se que a tensão das tiras de cap ply é gerida mediante o uso de um contrapeso. Este é um método que oferece um controle limitado e não oferece uma monitorização contínua do processo. Isto leva a uma gestão mais reativa, onde os ajustes são realizados com base em observações superficiais ou através de problemas resultantes.

Com esta dissertação, vai-se visar a procurar soluções que implementem um sistema de leitura e transmissão de dados em tempo real para um controlador que, por sua vez, ajustaria um motor de travagem. Esse motor, que já existe na máquina, será responsável por regular a tensão das tiras, permitindo um controlo automatizado do processo. Ao minimizar a intervenção manual, aumenta-se a eficiência, reduz-se a possibilidade de erros humanos e agiliza-se a manutenção do equipamento.

A viabilidade destas soluções incluirá uma análise de custos, avaliando não apenas os investimentos iniciais, mas também os custos operacionais e os potenciais retornos de eficiência e qualidade do produto.

Em suma, a busca para uma solução que permita a monitorização e controlo da tensão das tiras de cap ply representa um avanço tecnológico para esta indústria. Automatizar este processo não apenas melhora a precisão e eficiência, mas também reduz a dependência de intervenções manuais, elevando a capacidade de resposta e o controlo sobre a qualidade do produto final.

3.2.1. APRESENTAÇÃO DA MÁQUINA

O estudo do projeto desta dissertação será abordado neste capítulo através da apresentação da máquina utilizada para tal fim. Como já mencionado anteriormente, esta é denominada como cap-strip,

sendo um tipo de equipamento amplamente empregado na indústria de produção de pneus. Um modelo similar ao utilizado na Continental é exibido Figura 3.2.1.



Figura 3.2.1 - Sistema de cap-strip da STEELASTIC parecido ao sistema da cap-strip na Continental Mabor onde foi realizado o projeto. [11]

Apesar de ter sido discutido o processo de fabrico das tiras de cap ply em capítulos anteriores, faremos um breve resumo do mesmo, destacando as diferentes zonas da máquina, que podem ser observadas na Figura 3.2.2.

A zona 1, designada como Creel, é o local onde as bobinas de cordas têxteis são posicionadas e desenroladas para serem utilizadas na produção das tiras.

Na zona 2, encontram-se a placa perfurada, a fieira, o cabeçote e a extrusora. As cordas são enfiadas na placa perfurada, que tem como função alinhar as cordas entre o *creel* e o cabeçote. Após a passagem pelas perfurações da placa, as cordas são inseridas na fieira, composta por furos para a passagem das cordas e ranhuras para a entrada da borracha para impregnação. O cabeçote, componente da máquina onde a fieira é acoplada, é responsável pela impregnação das cordas com borracha. A extrusora, conectada lateralmente ao cabeçote, é alimentada pelas mesas de composto, aquece e força a borracha a entrar no cabeçote.

A zona 3 corresponde ao circuito de refrigeração, cujo objetivo é arrefecer o composto que se encontra aquecido após a impregnação das cordas.

Por fim, a zona 4 consiste na secção de enrolamento, onde cada tira é enrolada em bobinas individuais, e é o local da máquina onde foi efetuado o estudo deste projeto.

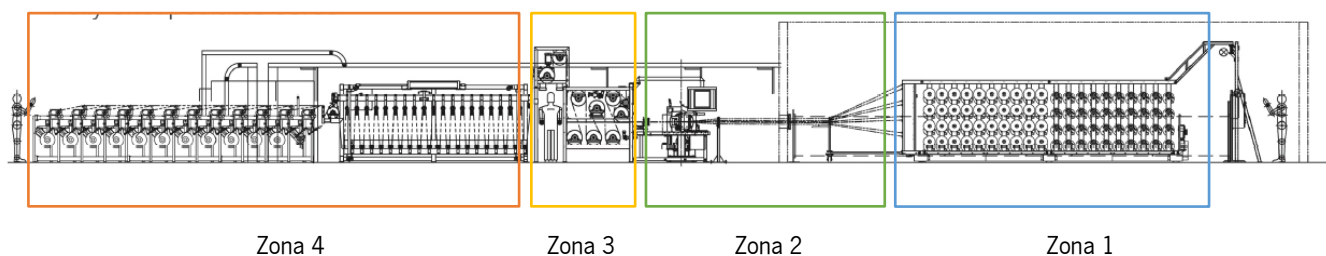


Figura 3.2.2 – Ilustração de um modelo semelhante ao utilizado na Continental Mabor, com as diferentes zonas da máquina destacadas por cor. [11]

Dado que não é possível obter uma representação mais detalhada da zona 4 devido a questões de confidencialidade da empresa, foram feitas anotações sobre o equipamento e a disposição dos diversos componentes. Essas anotações serviram como base para a elaboração de uma versão simplificada da zona 4 da cap-strip no ambiente computacional, utilizando o software de modelação 3D Fusion360. Esse modelo tridimensional desempenhou um papel crucial como suporte para o desenvolvimento dos protótipos dos sistemas de medição. O modelo simplificado da zona 4 é apresentado na Figura 3.2.3.

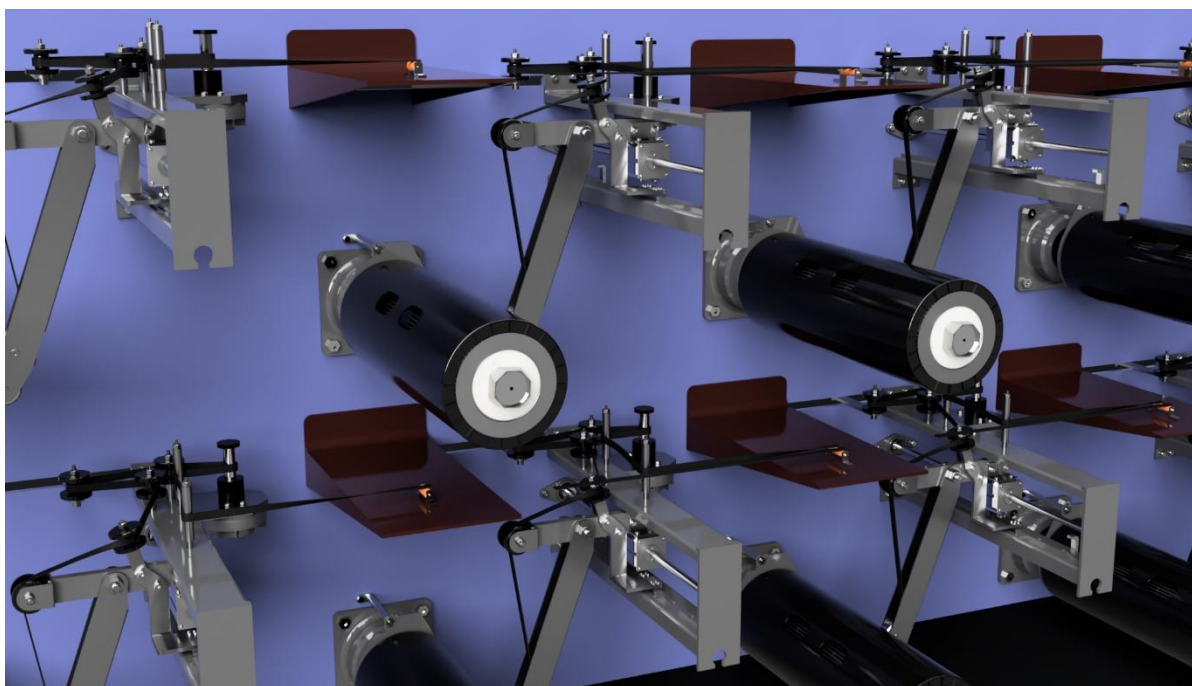


Figura 3.2.3 - Modelo tridimensional da zona de enrolamento da cap-strip com os principais componentes do sistema.

3.3. DISCUSSÃO DO PROBLEMA

Uma sessão de brainstorming revelou-se um marco crucial para a compreensão profunda do problema vinculado ao enrolamento das tiras de cap ply durante o processo de fabrico. Foram realizadas

reuniões quer com os engenheiros do departamento, quer com o orientador da universidade, num esforço conjunto para mergulhar na raiz das falhas e encontrar soluções inovadoras para evitá-las.

O ponto de partida foi a busca pelas verdadeiras causas por trás das falhas no enrolamento das tiras. Uma hipótese inicial levantou a possibilidade da variação da temperatura, tanto na máquina quanto nas próprias tiras, ser um fator desencadeante dessas falhas. Isto porque, a adesão das tiras pode estar dependente deste parâmetro. Daí, surgiu a ideia de realizar um ensaio térmico, uma termografia, como um meio para entender melhor as variações térmicas ao longo do processo de enrolamento. Contudo, reconhece-se que existem outros elementos que podem também estar em jogo.

A diversidade de componentes pelos quais a tira de cap ply passa quando se desloca e até mesmo o uso do contrapeso para ajustar a tensão foram considerados com possíveis causas de falhas. Isto porque, qualquer um desses componentes pode conter alguma avaria que não esteja a ser detetada e, consequentemente, afetar a passagem da tira até à bobine onde será enrolada. Procurou-se então identificar a causa-chave e mapear em que fase do processo de enrolamento essas falhas ocorriam, buscando compreender os momentos críticos onde a tensão de que está sujeita poderia ser afetada.

Uma das discussões relevantes concentrou-se na seleção do local adequado para medir a tensão. Essa decisão poderia impactar não apenas no instrumento de medição utilizado, mas também a eficácia da monitorização. Sugestões variaram desde locais ergonómicos e acessíveis até áreas mais próximas do local de ação, que por sua vez é ao lado da bobine, ou ao redor dos diversos rolamentos. A escolha do local seria crucial para o sucesso do instrumento de medição.

Foi também realizada uma análise aos atuais métodos de medição de tensão nas diversas máquinas da empresa, buscando encontrar possíveis correlações ou adaptações desses métodos para o contexto da Cap-strip. De todas as máquinas, foi destacado o equipamento utilizado nas máquinas PU (*Production Unit*), como um ponto de referência potencial para investigações posteriores.

Diversos instrumentos de medição disponíveis no mercado foram sugeridos durante as sessões, visando identificar qual seria mais adequado para se aplicar na Cap-strip e as suas necessidades específicas de medição de tensão.

Em resumo, a reunião de brainstorming permitiu uma visão estratégica de forçar em áreas específicas da máquina onde a ação poderia ser tomadas para medir a tensão das tiras de cap ply. Esta abordagem multidimensional demonstrou a importância de considerar não apenas as possíveis causas das falhas, mas também os métodos de medição, ferramentas disponíveis e locais ideais para uma intervenção eficaz.

3.3.1. GERAÇÃO DE IDEIAS

Desenvolver um sistema de medição de tensão para as tiras de cap ply será um desafio significativo para garantir um controle automático e eficaz do enrolamento das tiras. Este sistema visa garantir a precisão e a consistência na aplicação da força tensão, crucial para a qualidade e desempenho do produto final. Existem várias abordagens para alcançar este objetivo, cada uma com as suas vantagens e os seus desafios.

Na Figura 3.3.1, está representado um esquema de uma das bobinas da cap-strip de forma a poder-se compreender melhor o princípio funcional do sistema.

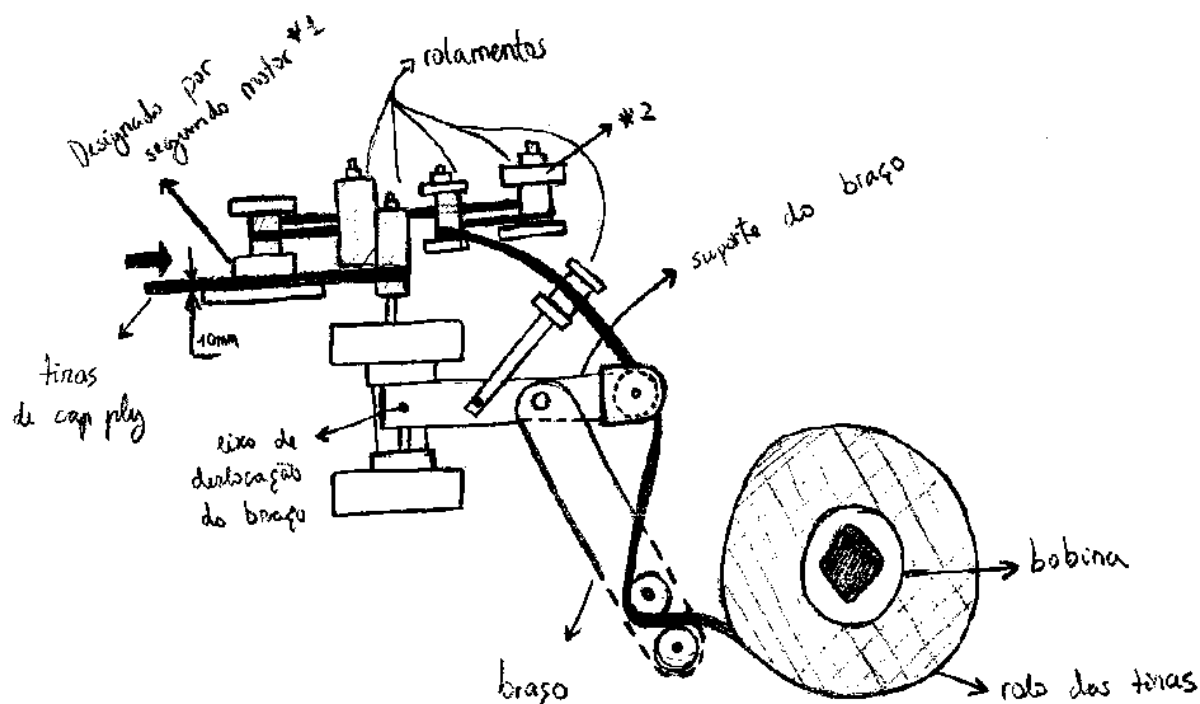


Figura 3.3.1 - Esquema do sistema tensorial da tira numa das bobinas da cap-strip.

Surge então uma ideia inicial, de adicionar uma terceira roda ao braço da cap-strip, similar ao setup tensímetros dos portáteis que existem no mercado, ver capítulo 3.3.2. Esta roda adicional servirá como o ponto de referência para a medição da tensão aplicada à tira, ver Figura 3.3.2. No entanto, qualquer alteração na geometria do equipamento deve ser cuidadosamente considerada. Mudanças podem afetar o desempenho e a estabilidade do sistema ao longo do tempo. A introdução de uma nova roda pode exigir ajustes minuciosos para evitar impactos indesejados na aplicação da tensão, uma vez que varia ao longo do enchimento da bobina.

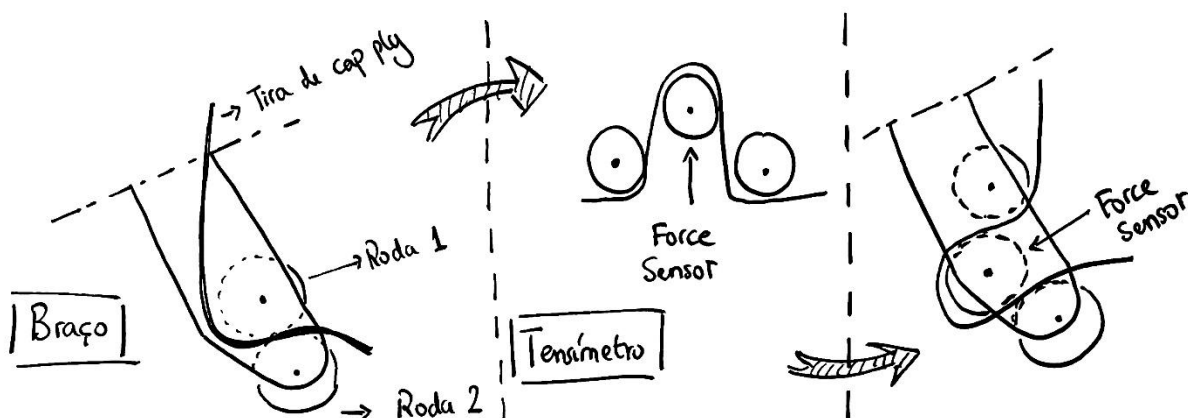


Figura 3.3.2 – Sketch do ponto de referência para a medição da tensão da tira de cap ply.

Uma alternativa seria explorar métodos de leitura indireta, como a medição da mudança do raio da bobine durante o enrolamento da tira. Os sensores a laser são uma opção viável para monitorizar esta mudança, já que se consegue medir precisamente variações no diâmetro do alvo ao longo do seu processo fabrico. A relação entre o raio da bobine e a tensão aplicada é significativa, mas é importante considerar que quebras ou falhas na tensão podem ocorrer antes do enrolamento da bobina, mais especificamente na passagem pelos rolamentos, devido ao atrito gerado pela deslocação da tira nos mesmos. Daí esta alternativa pode ser considerada como não plausível para aplicação na máquina.

A possibilidade de se utilizar equipamentos das máquinas PU (*Production Unit*) para controlar a tensão na cap trip é uma ideia interessante e já foi brevemente referida no capítulo anterior. As PU's são responsáveis por aplicar as tiras, breakers e pisos do pneu. Nestas máquinas, a tensão na cinta é monitorizada por uma célula de carga que traduz a variação da corrente elétrica que nela são geradas em valores mensuráveis. A conexão dessa célula a um amplificador permite converter os valores lidos como resistências para valores de força [N]. E, posteriormente permite ajustar a velocidade do motor caso os valores fiquem fora dos limites estabelecidos. Ao aplicar este método na capa strip seria exigido adaptações significativas para integrar essa tecnologia no processo de fabrico específico das tiras de cap ply.

Cada abordagem proposta possui as suas vantagens e os seus desafios técnicos. A decisão sobre qual o método adotado dependerá não apenas da eficácia da medição da tensão, mas também da viabilidade da implementação no contexto da cap trip. Testes piloto e simulações podem ajudar a avaliar a eficácia e a influência de cada método na produção antes de uma implementação em larga escala.

Além das técnicas mencionadas, pode ser considerado como crucial o impacto da variabilidade dos materiais utilizados na cap trip e nos equipamentos de medição para final diferenças nas

propriedades materiais podem afetar a forma como a tensão é aplicada e manter ao longo do processo. Portanto, é essencial realizar análises detalhadas dos materiais e as suas características para garantir uma medição precisa da força de tensão.

Com este capítulo percebe-se que a pesquisa continua e o desenvolvimento de novas tecnologias são essenciais para aprimorar os processos industriais, como é o caso da fabricação de pneus. Explorar diversas abordagens e estar aberto a inovações são passos fundamentais para se conseguir alcançar melhorias significativas na qualidade e na eficiência do produto final.

3.3.2. ESTUDO AO MERCADO DE TENSÍMETROS E TRANSDUTORES

Numa breve análise ao mercado de tensímetros, com o intuito de encontrar soluções aplicáveis ao sistema de medição da força de tensão da cap-strip, é possível identificar uma variedade de dispositivos e tecnologias que podem ser adaptados ou inspirar melhorias significativas.

Os tensímetros portáteis surgem como uma das principais referências neste contexto. Estes dispositivos possuem diferentes configurações, sendo alguns deles baseados em rodas de medição que aplicam uma pressão controlada na superfície de interesse. Esta abordagem, de ter uma roda de referência para medição no sistema da cap-strip, é promissora. Ao adicionar uma terceira roda no braço de aplicação da tira, poderia criar-se um sistema similar, utilizando a roda do meio como ponto de referência para medição de tensão.

Porém, é crucial considerar a adaptação desses tensímetros à especificidade do processo da Cap-strip. As exigências técnicas e a estrutura específica dessa máquina requerem uma análise minuciosa para garantir a viabilidade e eficácia da implementação.

Da Tabela 3.3 à Tabela 3.6, encontram-se dois tensímetros da marca chinesa, BETTEN, e dois transdutores da empresa americana, Dover Flexo Eletronics. Foi efetuada uma breve descrição da empresa e do equipamento para cada produto.

Tabela 3.3 - Descrição do equipamento Handy-Tens LC da empresa BETTEN.

Equipamento	Descrição do equipamento	
Nome do equipamento: <i>Handy-Tens LC</i>	Especificações: → Alimentado a pilhas; → Dispositivo de mão pequeno e leve; → Adequado para medições de curta duração; → Adequado para medir a tensão dos seguintes materiais: Fio metálico e materiais têxteis; → Polia guia de alumínio com rolamento duplo de esferas de 10 mm; → Polia guia de alumínio com rolamento duplo de esferas de 10 mm; → Velocidade máxima de linha até 2200 m/min; → Função de retenção: Ao premir e manter premido o botão, o valor atual pode ser armazenado; → Dimensões: Modelo 20 N: 200 x 80 x 30 mm; → Peso: 300 g.	
Empresa: <i>China Shenyang Betten Technology Co., Ltd.</i>		
Breve descrição da empresa: Fornece medidores de tensão, tensímetros, sensores de tensão, sensores de carga, enroladores e desenroladores, para as várias indústrias, capazes de medir a tensão dinâmica e estática em fios, cabos, fibras e outros materiais. BETTEN 沈阳百坦科技有限公司 LINK: https://www.texiaoyishu.com/zlcp/jkzly/1114.html		



Para implementar este tipo de equipamento, seria necessário realizar ajustes significativos em relação à sua fonte de energia, visto que, atualmente, a bateria disponível não se adequa às necessidades da Cap-strip. No entanto, apesar dessa limitação, esse dispositivo pode ser considerado como um ponto de partida para desenvolver um potencial método de medição da tensão das tiras de cap ply.

Tabela 3.4 - Descrição do equipamento Handy-Tens LC da empresa BETTEN.

Equipamento		Descrição do equipamento			
Nome do equipamento: <i>Handy-Tens LC</i>		Equipado com um compensador de diâmetro, que compensa os erros causados pelos diferentes diâmetros de cabos utilizados e melhora a exatidão das medições; Definição programável do valor máximo e mínimo da barra de estado da tendência, determina claramente o intervalo de mudança de tensão, e tem as vantagens da exibição de tendência de instrumento mecânico. Características e benefícios: → Gama da tensão: (25-2500.0 cN to 0.2-20.00 daN); → Dimensões: 76 x 46 x 275 mm; → Alimentação: Bateria recarregável de íões de lítio, funcionamento contínuo durante cerca de 60 horas; → Temperatura de funcionamento: 10-45 C, 90% de humidade relativa ou menos; → Precisão: (material de calibração de fábrica) 1% da escala completa, (outros materiais 3% da escala completa); → Velocidade máxima de linha: 6000 m/min.			
Empresa: <i>China Shenyang Betten Technology Co., Ltd.</i> Breve descrição da empresa: Fornecer medidores de tensão, tensímetros, sensores de tensão, sensores de carga, enroladores e desenroladores, para as várias indústrias, capazes de medir a tensão dinâmica e estática em fios, cabos, fibras e outros materiais. BETTEN 沈阳百坦科技有限公司 LINK: https://www.china-tensionmeter.com/Tension-meter/cables-ropes/907.html					
Os diferentes modelos da série NTL:					
Modelo	Gama de Tensões	Largura da cabeça de medição	Gama de diâmetro	Material de calibração (Monofilamento de poliamida)	Compensação do diâmetro do fio
NTL-2500	25-2500.0 cN	225 mm	Gama personalizada	Fornecido pelo cliente	SIM
NTL-5000	50-5000 cN	225 mm	Gama personalizada	Fornecido pelo cliente	SIM
NTL-10K	1.0-10.0 daN	225 mm	Gama personalizada	Fornecido pelo cliente	SIM
NTL-20K	2.0-20.0 daN	225 mm	Gama personalizada	Fornecido pelo cliente	SIM

Tabela 3.5 - Descrição do equipamento VNW Series Tension Transducer da empresa DFE.

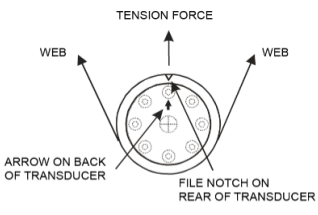
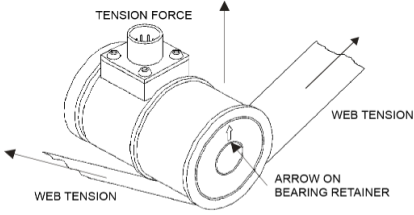
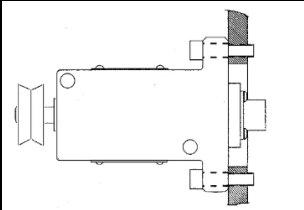
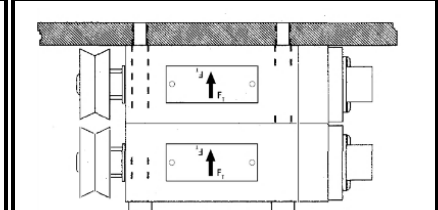
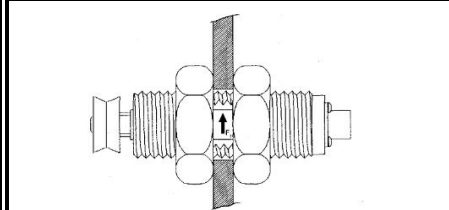
Equipamento	Descrição do equipamento	
Nome do equipamento: <i>Model VNW Series Tension Transducer</i>	O sensor VNW é montado em cantiléver (fixação num lado) em máquinas de processo para aplicações de desenrolamento, enrolamento, recolha ou em zonas intermédias.	
Empresa: DFE (Dover Flexo Electronics)	A tensão é medida através de extensómetros (<i>strain gauges</i>) de semicondutores de alto rendimento alojados internamente num feixe de transdutores de cantiléver duplo e ligados numa configuração de <i>Wheatstone bridge</i>. As rodas são montadas no eixo, que está inserido no furo do transdutor, e são fixas através de parafusos. A profundidade do eixo pode ser ajustada +/- 0,25 polegadas, de forma a se obter o correto alinhamento da roda com o filamento.	
Breve descrição da empresa: A DFE é a escolha natural dos OEM, operadores, engenheiros de processo e de controlo para equipar as máquinas com um controlo de tensão preciso e fácil de utilizar. Os seus sistemas melhoram a produtividade e a fiabilidade do processamento de materiais, reduzindo o desperdício e os custos operacionais. Estas vantagens permitem o retorno do investimento num novo sistema de controlo de tensão em apenas algumas semanas. A qualidade consistente, a fiabilidade do produto e o apoio técnico superior traduzem-se num baixo custo total de propriedade para todos os nossos clientes.	À medida que o filamento passa sobre a roda de transporte passa sobre a roda de transporte rotativa, a força do substrato sobre o eixo da roda provoca uma deflexão mínima do feixe do transdutor. Esta mudança resultante na resistência do extensómetro produz uma saída de tensão (Voltagem) do transdutor que é proporcional à carga. O valor de saída do transdutor é condicionado através de um amplificador ou um controlador automático de tensão ou pelo controlo de tensão em circuito fechado (Incorporando um dispositivo de binário). Características e benefícios: Profundidade de 2 1/8" permite a instalação em espaços apertados; Tecnologia de extensómetros de semicondutores altamente precisa e fiável; → Versátil e fácil de instalar; → Comprimentos de face da roda até 4" no máximo; → Design e\ materiais de alto desempenho para uma longa vida útil; → Classificações de carga de 10 – 400 lbs (45 – 1800 N); → Estão disponíveis rodas especiais; → Medição exata de tensão de qualquer banda estreita, fita ou filamento; → Construção em aço inoxidável para uma excelente resistência à corrosão; → Peso das rodas: Filamento (222 g); Fita (204 g); Adaptador (295 g).	
Direção da carga aplicada (ajustar o transdutor no ajustar manualmente o transdutor na estrutura da máquina (não utilizar uma chave inglesa), de modo que a seta (ou o entalhe) bis seccione o ângulo de enrolamento.)	 REAR OF TRANSDUCER  FRONT OF TRANSDUCER	



Tabela 3.6 - Descrição do equipamento LT Low Tension Transducer da empresa DFE.

Equipamento	Descrição do equipamento	
Nome do equipamento: Model LT Low Tension Transducer	O transdutor de baixa tensão LT é utilizado em aplicações de processamento de filamentos, fibras, fitos e fios, onde se requer o controlo de tensão a níveis baixos.	
Empresa: DFE (Dover Flexo Electronics)	Acoplado a um amplificador, ele funciona como um sensor eletromecânico que converte a tensão do filamento numa tensão CC proporcional à carga. À saída do transdutor, também pode ser montado um controlador de tensão automático que gere a tensão num circuito de malha fechada, regulando um dispositivo de binário, como por exemplo um travão, embraiagem ou sistema de acionamento.	
Breve descrição da empresa: A DFE é a escolha natural dos OEM, operadores, engenheiros de processo e de controlo para equipar as máquinas com um controlo de tensão preciso e fácil de utilizar. Os seus sistemas melhoram a produtividade e a fiabilidade do processamento de materiais, reduzindo o desperdício e os custos operacionais. 	O transdutor LT está disponível numa configuração de caixa empilhável ou numa caixa roscada (M36 x 4) ou com duas porcas de bloqueio. A caixa roscada instala-se facilmente num orifício da estrutura da máquina. A direção da força pode ser facilmente ajustada através do desaperto das porcas de aperto seguida pela rotação da caixa do transdutor para a posição correta. As rodas do transdutor padrão são leves, de alumínio anodizado com revestimento duro. São duráveis, de baixa inércia e equipadas com rolamentos de esferas de grau instrumental. Características e benefícios: Extensómetro semicondutores de alto desempenho proporcionam precisão e longevidade superiores; Classificação de carga: (50, 100, 200, 500, 1000, 200g); → Tamanho compacto permite que o transdutor caiba em espaços pequenos; → Binário de rutura ultrabaixo (1.5 g/cm) significa que não há deslizamento ou arranhões do filamento na roda; → Empilhável; vários transdutores cabem num espaço pequeno; → Construção robusta; → Baixo custo; → 5 anos de garantia; → Temperatura de funcionamento: – 23 °C até 93 °C.	
Montagem do transdutor (Legenda: Esquerda – MONTAGEM DE CAIXA DE EMPILHAMENTO (extremidade); Meio – MONTAGEM DE CAIXA DE EMPILHAMENTO (lado); Direita – CAIXA ROSCADA, MONTAGEM COM ORIFÍCIO DE PASSAGEM).		
		

3.4. TENSÃO DE ENROLAMENTO

A tensão de enrolamento das tiras de cap ply é uma medida de força que é aplicada às tiras quando estas são enroladas. Existem diferentes técnicas para controlar a tensão de enrolamento das tiras de cap ply, tal como o uso de máquinas de enrolamento especializadas e o monitoramento rigoroso da tensão durante o processo de fabrico. A tensão de enrolamento pode ser medida através de um dispositivo designado por tensímetro, que mede a força aplicada às tiras de cap ply enquanto estas são enroladas.

Contudo, convém compreender primeiro o funcionamento de um sistema de enrolamento, começando pelos enroladores.

3.4.1. SISTEMA DE ENROLAMENTO

Os enroladores têm uma função crucial na regulação da tensão superficial durante o processo de enrolamento de materiais, desempenhando um papel vital no controlo da tensão das tiras de cap ply durante a operação de enrolamento na máquina cap-strip. [12]

A manutenção de uma tensão constante ao longo do processo é essencial para garantir um enrolamento adequado do material. Nos casos onde a espessura do material é considerada baixa, é necessário ajustar a tensão à medida que o diâmetro do rolo aumenta. Adicionalmente, neste tipo de processo é de muito importante evitar problemas como inclusões de ar entre as camadas de tiras, o que poderá comprometer a qualidade do enrolamento.

Um sistema de enrolamento abrangente deve incluir pelo menos, os seguintes componentes:

- Rolo com um núcleo;
- Motor (diretamente acoplado a uma caixa de engrenagem);
- Polias/Rolamentos (orientam o material na direção correta).

3.4.2. TIPOS DE ENROLADORES

Existem vários tipos de enroladores, como o enrolador centralizado (ou axial) e o enrolador de superfície, onde o material é guiado por uma correia, ver Figura 3.4.1.

Na cap-strip, são utilizados enroladores centralizados, nos quais o material é enrolado em torno de um "núcleo" acionado por um motor.

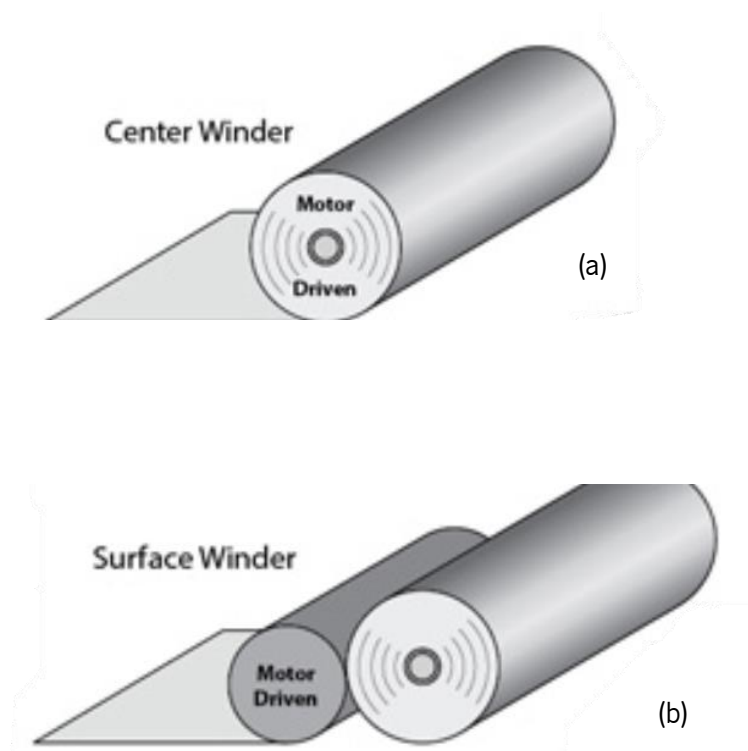


Figura 3.4.1 - Ilustração do enrolamento centralizado (a) ou de superfície (b) utilizados nas indústrias em que podem ser aplicados, tal como no enrolamento de tiras de cap ply. [12]

3.5. PRINCÍPIOS DO ENROLADOR

As partes cruciais de um sistema de enrolamento incluem o motor, a caixa de engrenagem e o rolo com o núcleo.

Na análise física do processo, a velocidade da linha, o diâmetro, a relação de transmissão e a velocidade do motor desempenham papéis essenciais. Através da Figura 3.5.1 consegue-se compreender melhor o papel de cada parte, bem como as quantidades físicas descritas (i = relação de transmissão; n = velocidade do motor; D = diâmetro; v = velocidade de linha).

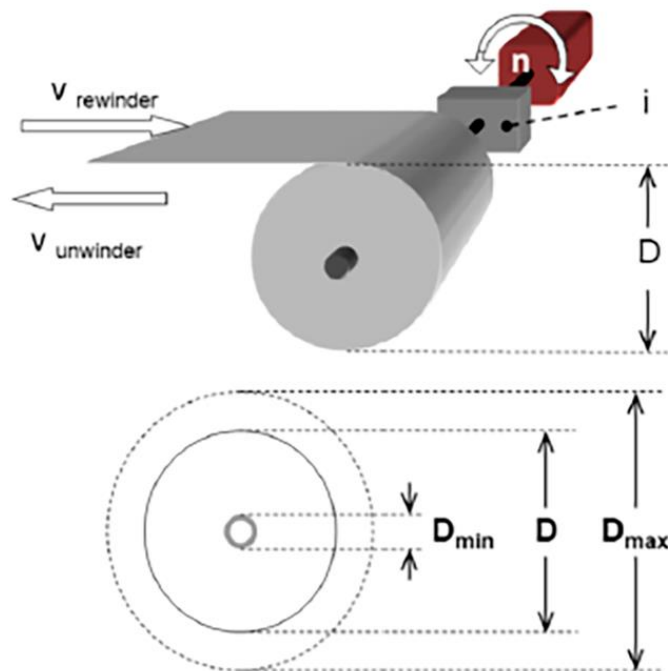


Figura 3.5.1 - Ilustração dos componentes envolventes num sistema de enrolamento e algumas das quantidades físicas igualmente importantes. [12]

3.5.1. DIÂMETRO

O diâmetro é um parâmetro interno crucial para calcular outras variáveis, como por exemplo a tensão. Sendo assim, a precisão do enrolador depende principalmente do diâmetro.

Existem diferentes formas de medir o diâmetro, quer por métodos diretos ou indiretos. Relativamente ao método direto, pode-se utilizar um medidor ultrassônico, uma vez que é a forma mais exata e precisa de se obter o valor do diâmetro. Contudo, este é um método bastante caro e, logo nem sempre é o mais adequado para o tipo de aplicações que pretendemos aplicar o aparelho de medição. Indiretamente, consegue-se obter o valor do diâmetro através de parâmetros mais fáceis de medir, como a velocidade do motor e da linha, ver (3.1).

$$D = \frac{v}{n \cdot \pi} \quad (3.1)$$

Onde:

- n = Velocidade da rotação do motor. [rpm]
- v = Velocidade da linha. [m/min]
- D = Diâmetro [m]

3.5.2. BINÁRIO E TENSÃO

Conforme mencionado anteriormente, em processos de enrolamento de alta precisão, manter uma tensão constante é crucial para garantir a qualidade do enrolamento. Essa tensão está intrinsecamente ligada ao binário exercido sobre o rolo pelo motor.

À medida que o diâmetro aumenta durante o processo de enrolamento, é essencial ajustar o binário de acordo com esse aumento, como podemos verificar pela Equação (3.2). A Figura 3.5.2, permite uma melhor compreensão do tópico em questão.

$$T_w = \frac{F_w \cdot D}{2 \cdot i} \quad (3.2)$$

Onde:

- T_w = Binário do motor [Nm]
- F_w = Força de Tensão [N]
- D = Diâmetro [m]
- i = Relação de transmissão.

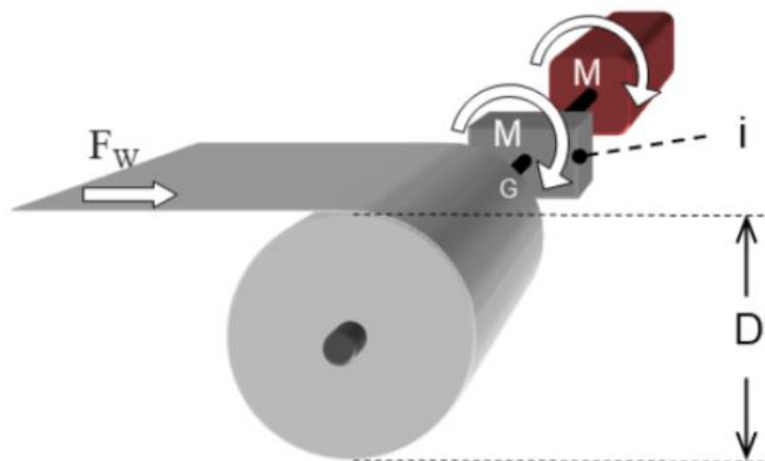


Figura 3.5.2 - Representação das quantidades físicas num sistema de enrolamento.[12]

Onde:

- F_w = Força de Tensão [N]
- D = Diâmetro [m]
- i = Relação de transmissão;
- M = Binário [Nm];

Na Cap-strip, onde o processo de enrolamento não é contínuo e inclui paragens para remover e recolocar as bobinas nos postos de trabalho, é necessário considerar o binário adicional gerado durante a aceleração.

A equação (3.6), uma simplificação da equação (3.5), pode ser utilizada para calcular o binário quando o diâmetro aumenta gradualmente e lentamente durante o processo. Caso esse não fosse o caso, de forma a calcular o binário de aceleração terá de se ter em consideração a velocidade angular “ ω ” do motor, que por sua vez pode-se calcular através da equação (3.3).

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (3.3)$$

Na equação (3.4), o J representa o momento de inércia total do sistema.

- J_M é o momento de inércia do motor.
- J_1, J_2, J_3 são os momentos de inércia de outras partes do sistema (por exemplo, componentes adicionais acoplados ao motor).
- i é a relação de transmissão.

Esta equação é utilizada para calcular o momento de inércia equivalente que afeta o motor, levando em consideração a contribuição dos momentos de inércia adicionais divididos pela razão de transmissão ao quadrado. É essencial para determinar a dinâmica do sistema durante a aceleração e desaceleração.

$$J = J_M + \frac{J_1 + J_2 + J_3}{i^2} \quad (3.4)$$

A equação (3.5) demonstra que o binário necessário para acelerar um sistema é proporcional ao momento de inércia do sistema e à aceleração angular do motor.

- $\frac{\delta w_{Motor}}{\delta t}$ é a taxa de variação da velocidade angular do motor ao longo do tempo (aceleração angular).

$$T_{acc} = J \cdot \frac{\delta w_{Motor}}{\delta t} \quad (3.5)$$

$$T_{acc} = J \cdot \frac{2 \cdot i}{D} \cdot \frac{\delta v}{\delta t} \quad (3.6)$$

Onde:

- D é o diâmetro da rotação do material (por exemplo, rolo);
- $\frac{\delta v}{\delta t}$ é a taxa de variação da velocidade linear ao longo do tempo.

O binário de aceleração ocorre nos momentos de aceleração e desaceleração do processo. Este binário adicional é influenciado pela inércia do motor, da caixa de engrenagem e do núcleo, sendo a inércia fixa em cada um destes componentes. Relativamente ao rolo, a inércia é considerada variável de acordo com o diâmetro atual. Para equilibrar as perdas de inércia, outro binário adicional é necessário. Na Figura 3.5.3 está representada a respetiva inércia em cada um dos componentes.

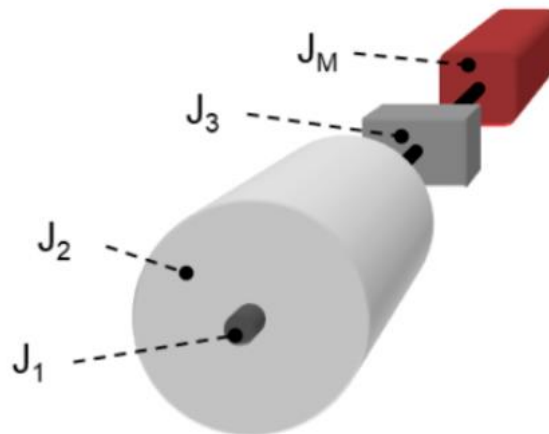


Figura 3.5.3 – Identificação das variáveis de inércia em cada um dos componentes. [12]

Onde:

- J_1 = Momento de inércia do núcleo;
- J_2 = Momento de inércia do rolo;
- J_3 = Momento de inércia da caixa de engrenagem;

- J_M = Momento de inércia do motor.

Deste modo, devemos considerar que o valor total de binário presente no processo é uma soma de cada binário mencionado previamente, como se pode ver pela (3.7).

$$T_t = T_w + T_{acc} + T_p \quad (3.7)$$

Onde:

- T_w = Binário dependente do motor;
- T_{acc} = Binário dependente da aceleração;
- T_p = Binário dependente das perdas relativas aos acoplamentos mecânicos.

3.5.3. COMPENSAÇÃO DAS PERDAS

Além disso, é importante abordar as perdas de binário devido aos acoplamentos mecânicos. Essas perdas não são lineares e variam com a velocidade do motor.

Na prática, o binário do motor pode ser obtido usando várias velocidades do motor registradas como pontos de apoio em coordenadas x e y. A velocidade atual do motor pode, então, ser medida, e o binário resulta da interpolação entre dois pontos de apoio, conforme ilustrado na Figura 3.5.4.

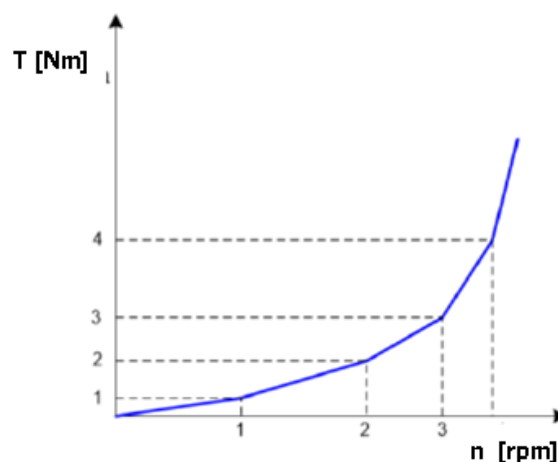


Figura 3.5.4 - Gráfico do binário em relação à velocidade do motor. [12]

3.5.4. BINÁRIO

O binário total necessário para o enrolamento consiste na soma do binário proveniente da tensão, do binário de aceleração e das perdas mecânicas, como indicado na equação (3.8). No cálculo deste

binário total, é fundamental considerar as propriedades específicas do material, particularmente para determinar o binário de aceleração, onde informações sobre o peso do material e sua massa volúmica são indispensáveis. Este enfoque abrangente na análise do binário assegura um controle preciso e eficaz da tensão ao longo do processo de enrolamento de tiras ou filamentos, contribuindo para a obtenção de resultados de alta qualidade [12].

$$T = T_w + T_{acc} + T_L \Leftrightarrow T = \frac{F_w \cdot D}{2 \cdot i} + \left(J_M + \frac{J_1 + J_2 + J_3}{i^2} + \frac{b \cdot p \cdot \pi}{32} \cdot \frac{D^4 - D_{min}^4}{i^2} \right) \cdot \frac{2 \cdot i}{D} \cdot \frac{\delta v}{\delta t} + T(n) \quad (3.8)$$

3.6. PROCEDIMENTOS DO ENSAIO TERMOGRÁFICO

Este ensaio tem como objetivo a medição precisa da temperatura durante o processo de enrolamento das tiras de cap ply. A intenção principal é obter dados térmicos nas fases inicial, intermédia e final do enrolamento. Este procedimento é vital para a análise minuciosa da temperatura durante a produção.

O primeiro passo é a calibração do instrumento de medição, que pode ser efetuada utilizando um fundo preto como ponto de referência. Esta calibração garante que o dispositivo esteja ajustado corretamente, proporcionando medições fiáveis.

O ensaio abrange um período total de aproximadamente 40 minutos. Durante esse período, são realizadas medições em várias bobines em momentos específicos do enrolamento. Essas medições seguem uma sequência predefinida para obter valores de temperatura nas etapas inicial, intermédia e final do enrolamento, conforme ilustrado na Tabela 3.7 e Figura 3.6.1.

Tabela 3.7 - Sequência para as medições.

Medição	Tempo (min)
1	5
2	20
3	35

As bobines selecionadas foram escolhidas de acordo com a sua posição na máquina. Incluem bobines posicionadas imediatamente após a saída do setor de arrefecimento, destacadas na Figura 3.6.2 em azul-claro, bem como bobines em posições intermédias e finais. As bobines escolhidas foram numeradas como 1, 6, 11 e 16.

Para garantir a precisão das medições, são efetuadas três leituras de temperatura em cada instante de tempo e para cada bobine. A média aritmética dessas medições é calculada para obter o valor final da temperatura.

A aplicação *Fluke Connect* é usada para o registo das medições. Esta aplicação permite a criação de um relatório comparativo que serve como base para a análise das variações de temperatura nas diferentes etapas do enrolamento. Esta análise é essencial para identificar potenciais discrepâncias e tendências ao longo do processo.

Antes de iniciar o ensaio, procedimentos como a calibração do instrumento de medição e a avaliação de fatores que possam influenciar a leitura da temperatura são cuidadosamente considerados e controlados para garantir a precisão das medições.

Este ensaio de leitura de temperatura ao longo do enrolamento das tiras de cap ply desempenha um papel fundamental na avaliação da uniformidade térmica em diferentes estágios do processo de produção. Os dados recolhidos são inestimáveis para otimizar a qualidade e eficiência da produção, garantindo que as tiras sejam tratadas dentro dos parâmetros de temperatura adequados em todas as fases do processo.

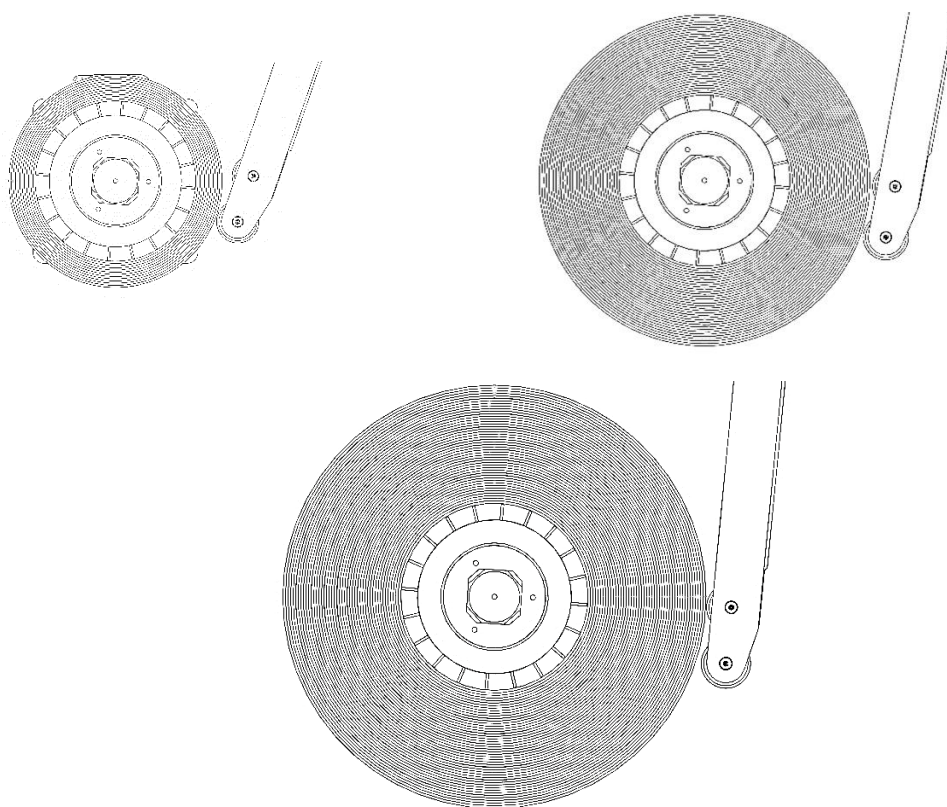


Figura 3.6.1 - Fase inicial, média e final do enrolamento da tira que servirá de base para a determinação dos instantes a qual serão realizadas as medições.

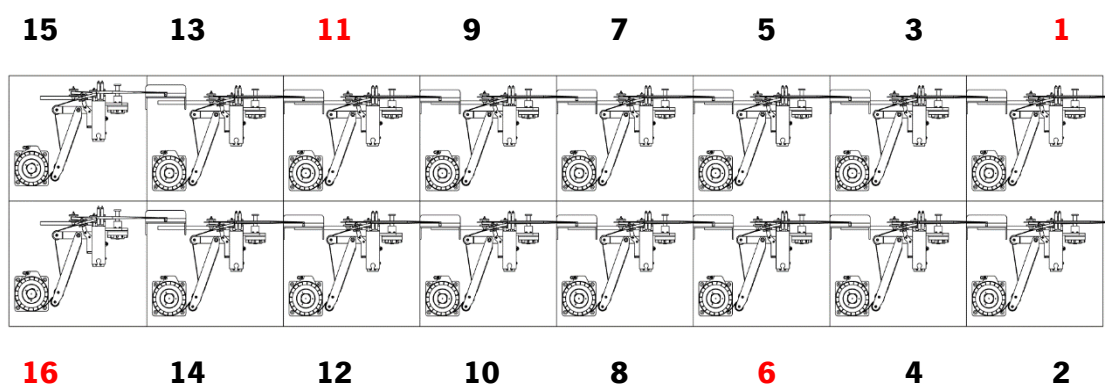


Figura 3.6.2 - Esquema (estilo de visualização – *wireframe*) da Cap-strip 3, com a respetiva numeração de cada bobine. As bobinas em vermelho estão assinaladas as bobinas que serão utilizadas para as medições. A linha azul-clara representa o setor de arrefecimento. Este esquema é uma representação aproximada do estado atual da máquina, modelada no software *Fusion 360* da *Autodesk*.

3.6.1. CALIBRAÇÃO DA CÂMARA TERMAGRÁFICA

Antes de iniciar o ensaio, foi necessário verificar se o dispositivo estava calibrado para a leitura de valores de temperatura emitidos pelo material em estudo, a borracha.

De acordo com a fornecedora da câmara de imagem térmica, um dos métodos mais utilizados para a calibração deste tipo de equipamento consiste na leitura da temperatura da água congelada e a ferver. No equipamento deverá ser atribuído o valor de 0.96 ao parâmetro de emissividade. Ao apontar a câmara para o recipiente com a água, a leitura no equipamento deverá corresponder aos 36 °F (2.2°C) para a água congelada e a um intervalo de valores entre os 150 e 160 °F (66.6 – 71.1°C) para a água fervente.

A câmara está calibrada para o material de borracha, cujo a emissividade corresponde a 0.95, como se pode ver pela Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Emissividade Superficial Nominal, [4]

Material	Valor	Material	Valor
Padrão ****	0.95	Vidro (prato)	0.85
Alumínio *	0.30	Ferro *	0.70
Amianto	0.95	Chumbo	0.50
Asfalto	0.95	Óleo	0.94
Latão *	0.50	Tinta	0.93
Cerâmico	0.95	Plástico	0.95
Betão	0.95	Borracha	0.95
Cobre *	0.60	Areia	0.90
Comida – Gelada	0.90	Aço *	0.80
Comida – Quente	0.93	Água	0.93
		Madeira ***	0.94

* Oxidado

** Opaco

*** Natural

**** Configuração de fábrica

Item destacado – Valor de emissividade utilizado nos ensaios.

3.6.2. INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA DA CÂMARA ATÉ O OBJETO

Outro parâmetro a ter em conta antes de realizar as medições, é a influência da distância entre o aparelho e o alvo. À medida que a distância (D) aumenta, a área de leitura (S) torna-se maior, ver Figura 3.6.3. Quanto menor for o alvo, menor deverá ser a distância entre o alvo e o equipamento de medição. Para medições precisas é necessário certificar que a área de leitura é inferior ao alvo que se pretende medir, ver Figura 3.6.4. [4].

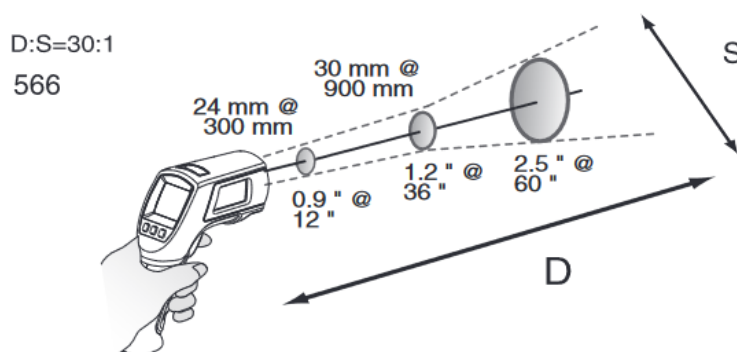


Figura 3.6.3 - Relação entre a distância (D) e a área de leitura (S), [4].

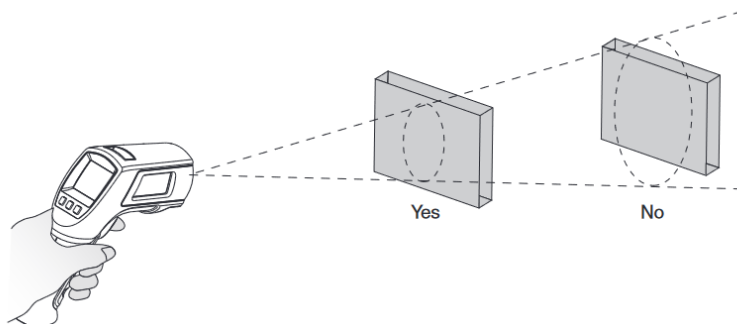


Figura 3.6.4 - Campo de visão, [4].

Tendo em conta os parâmetros apresentados no último parágrafo e nas Figuras Figura 3.6.3 e Figura 3.6.4, definiu-se um distanciamento (D) entre o operador e a máquina de 200 ± 50 mm, ver Figura 3.6.5. Para garantir essa distância, foi posicionada uma fita branca no chão, indicando onde colocar o pé durante a leitura.

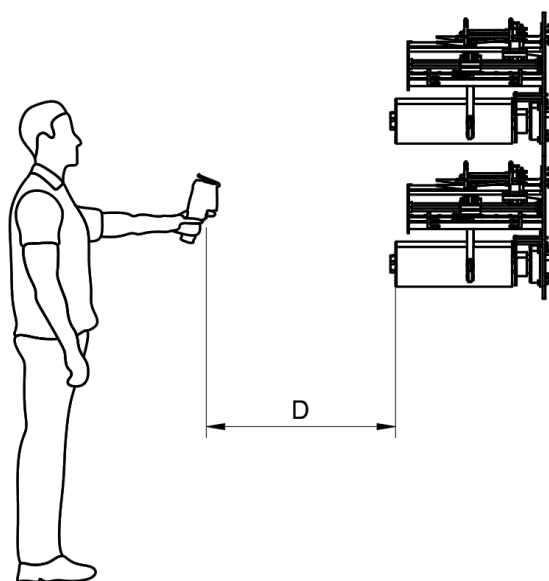


Figura 3.6.5 - Representação gráfica do distanciamento (D) entre operador e equipamento durante a leitura da temperatura.

3.7. RESULTADOS

Após serem efetuadas as leituras, de acordo com os procedimentos destacados nos subcapítulos anteriores, os valores foram registados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Temperatura das tiras de cap ply nas bobines 1, 6, 11 e 16 da Cap-strip 3.

Bobines	Tempo (min)	Medição	T (°C)	Tmédia (°C)	ΔT (°C)
1	5	1	26.02	25.69	3.77
		2	25.36		
	20	1	23.71	23.93	
		2	24.14		
	35	1	21.92	21.92	
6	5	1	24.53	24.18	1.60
		2	23.83		
	20	1	23.97	22.99	
		2	22.01		
	35	1	22.58	22.58	
11	5	1	24.57	22.92	0.46
		2	21.26		
	20	1	24.12	23.37	
		2	22.62		
	35	1	22.99	22.99	
16	5	1	20.90	22.22	0.71
		2	23.54		
	20	1	22.26	21.51	
		2	20.76		
	35	1	22.17	22.17	

Com a tabela consegue-se retirar que para cada bobine existe um decréscimo de temperatura ao longo do enrolamento. A bobina 1 consta com o maior declive das quatro bobines escolhidos para o estudo termográfico.

É de notar que no minuto 35 só existe uma leitura, ao contrário dos restantes minutos onde existem duas. Isto acontece devido a uma falha na passagem de informação do leitor para o computador.

Através dos valores de tempo e temperatura média, foi gerado um gráfico para cada bobine, de forma a conseguir representar uma curva (linha de tendência) da variação da temperatura ao longo do processo de enrolamento. Ver Figura 3.7.2 à Figura 3.7.8.

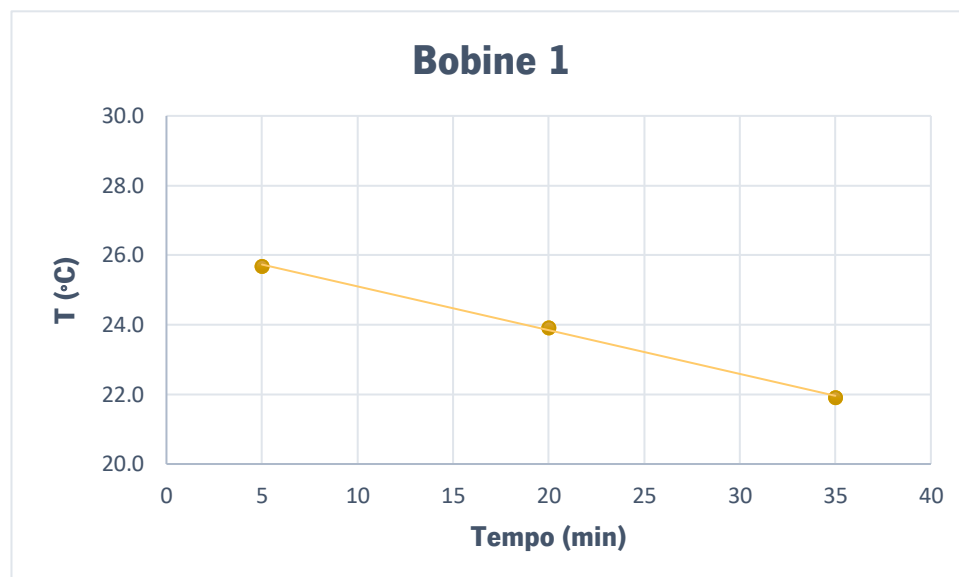


Figura 3.7.1 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 1.

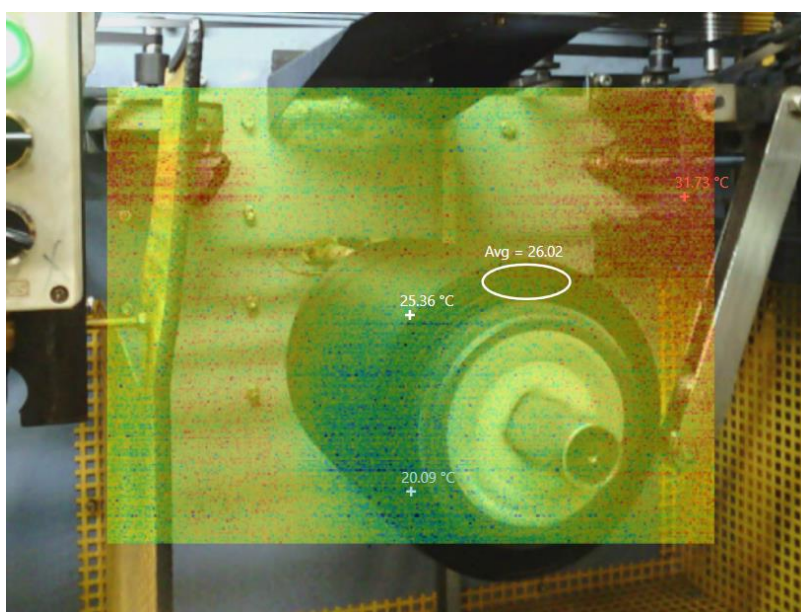


Figura 3.7.2 - Ilustração da leitura número 1 do minuto 5 efetuada na bobine 1.

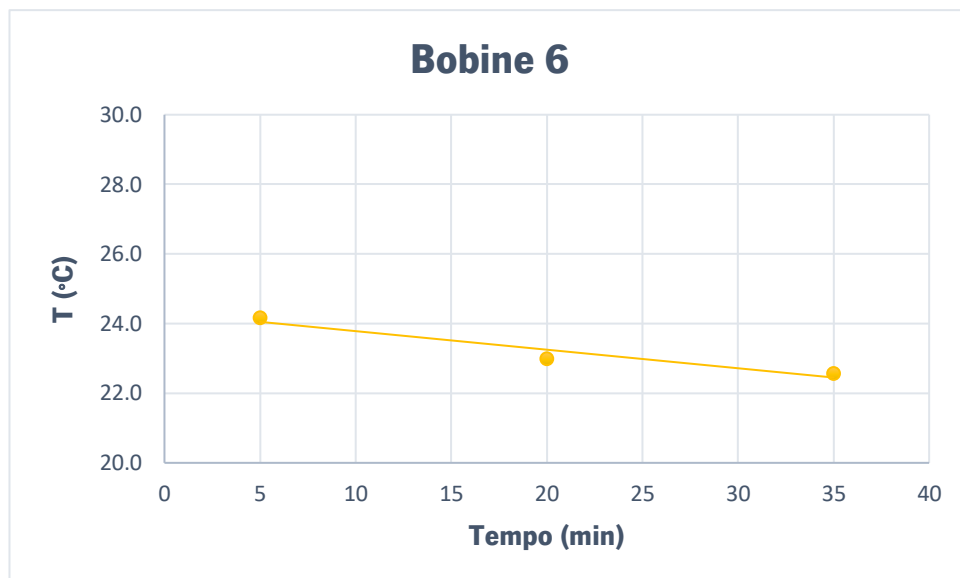


Figura 3.7.3 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 6.

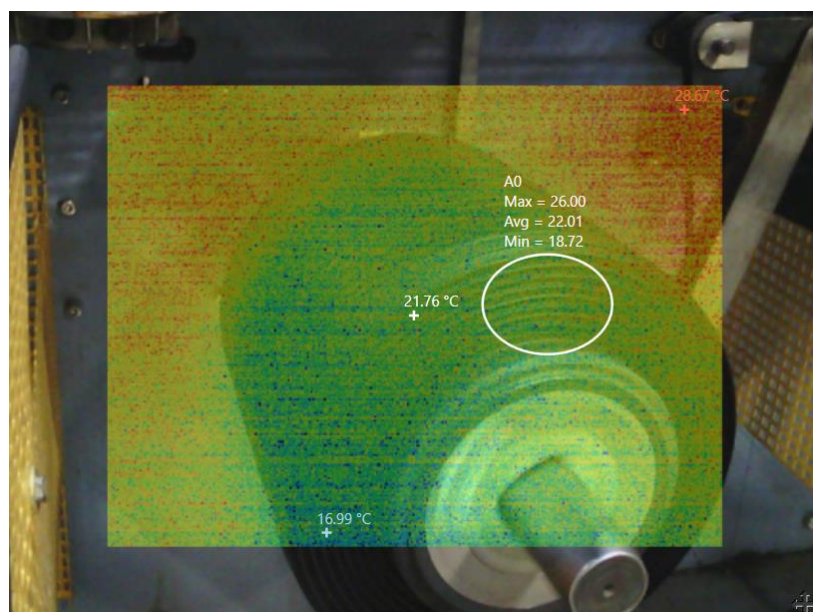


Figura 3.7.4 - Ilustração da leitura número 2 do minuto 20 efetuada na bobine 6.

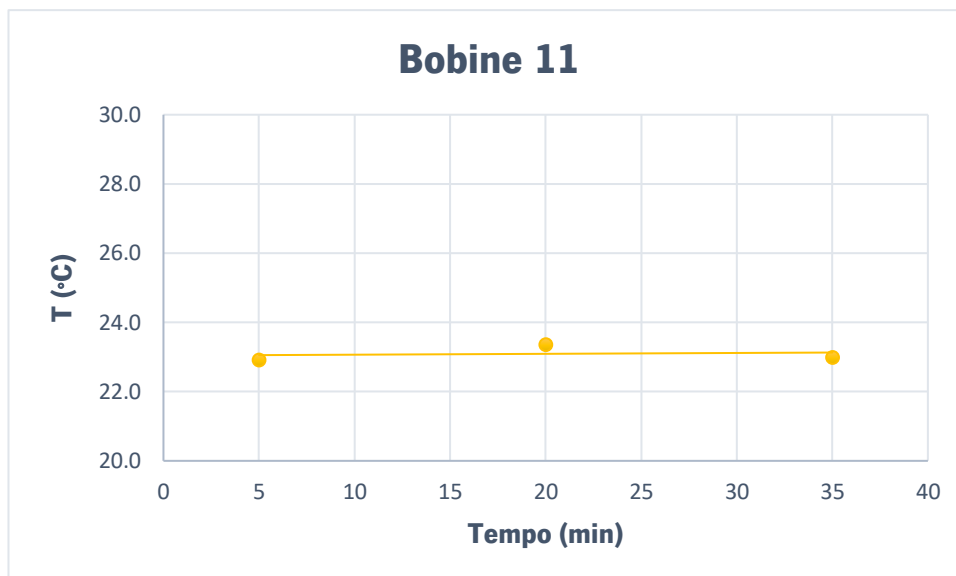


Figura 3.7.5 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 11.

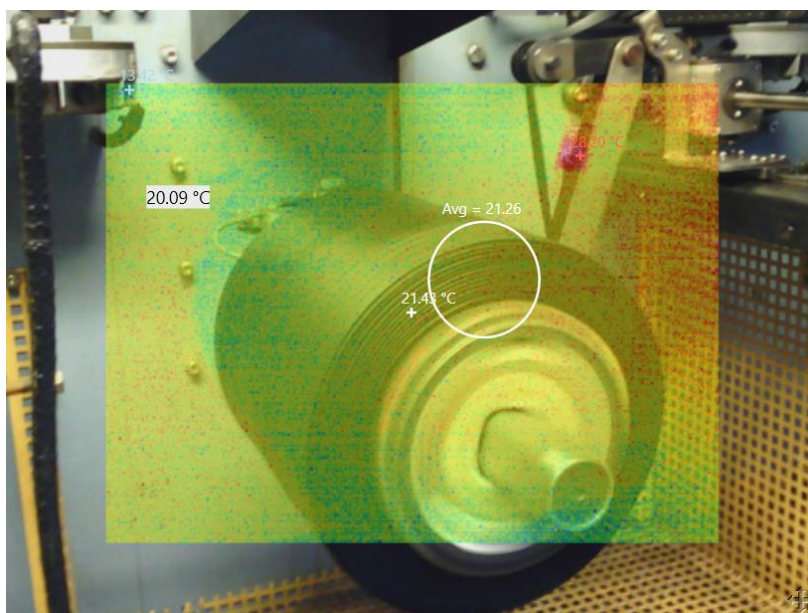


Figura 3.7.6 - Ilustração da leitura número 2 do minuto 5 efetuada na bobine 11.

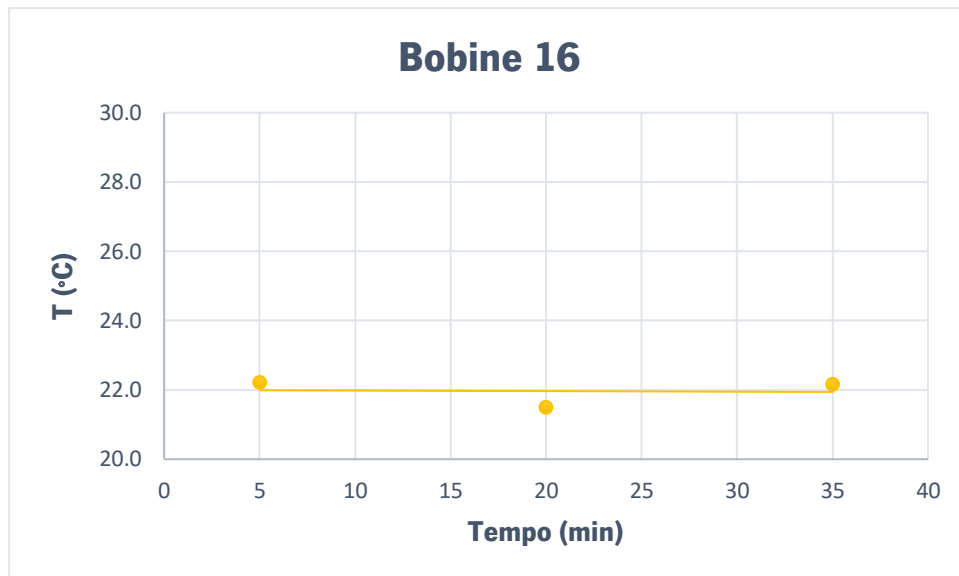


Figura 3.7.7 - Gráficos com as leituras de temperatura da tira de cap ply na bobine 11.

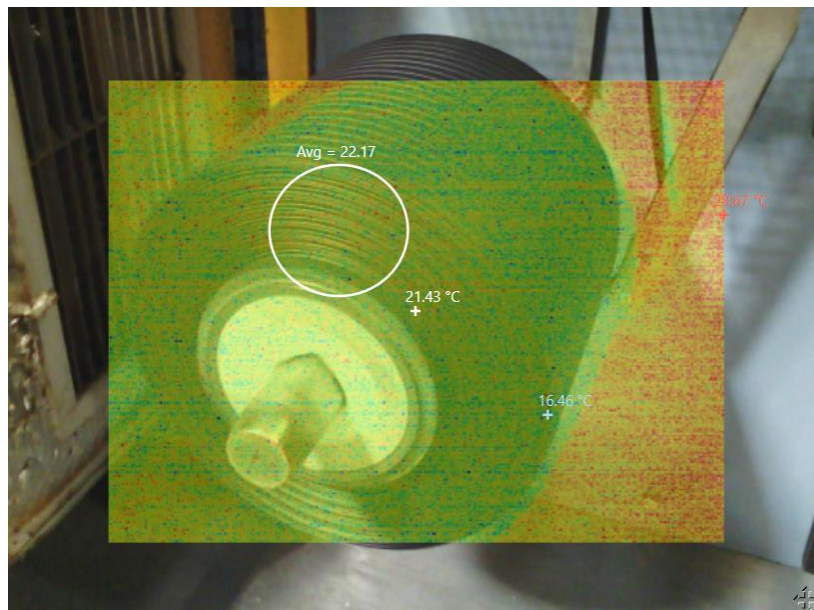


Figura 3.7.8 - Ilustração da leitura número 1 do minuto 35 efetuada na bobine 16.

Os resultados da termografia revelam um padrão consistente de decréscimo na temperatura da tira de capa ao longo dos 40 minutos de processo de enrolamento. Esse decréscimo é particularmente notável nas bobines 1 e 6, enquanto as bobines 11 e 16 apresentam leituras mais estáveis, refletindo-se em gráficos com linhas de tendência retas para ambas bobines.

Verifica-se que a temperatura ronda os 22 °C, e atinge um máximo de 26,02 °C (Bobine nº1) e mínimo de 20,76 °C (Bobine nº16). Na primeira bobine ocorreu um decréscimo de temperatura mais acentuado em relação às restantes bobines, mais especificamente após os 35 minutos do processo.

Sendo assim, pode-se presumir que tenha sido uma anomalia cometida durante a leitura, e que o valor verdadeiro da temperatura nesse instante possa estar a rondar os 23 °C.

3.8. CONCLUSÃO

Inicialmente, esperava-se resultados opostos, considerando a crença que a força exercida sobre as tiras ao longo do enrolamento poderiam influenciar a sua temperatura. A expectativa era que esses fatores afetassem as propriedades de adesão da tira, uma vez que um aumento na temperatura poderia melhorar essa adesão. Essa possível melhoria na adesão poderia, por sua vez, dificultar o desenrolamento das tiras nos processos subsequentes.

No entanto, os resultados deste estudo desafiaram essa expectativa, destacando a estabilidade das propriedades da tira ao longo do processo de enrolamento. A ausência de variações significativas de temperatura e impacto na adesão sugere uma consistência notável, contrariando a hipótese inicial.

A utilização de um equipamento de refrigeração, que é o caso na máquina em questão, possibilita o mantimento de uma temperatura constante ao longo do processo de enrolamento da tira. Apesar do propósito deste equipamento ser manter a totalidade da máquina a uma temperatura razoável e correta de funcionamento, não se pode descartar o impacto que pode ter no produto que a máquina está a produzir.

Finalizando, não existe um aumento ou decréscimo de temperatura significativo para a carga térmica ser considerada como um fator influenciador no enrolamento e adesão da tira de cap ply. Logo, pode-se partir do princípio de que a tensão do enrolamento da tira é o único/principal fator a ser considerado para que o processo seja corretamente desempenhado pela máquina.

4. PROJETO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

O objetivo central deste capítulo é a criação de equipamentos que sejam, acima de tudo, simples e acessíveis. A simplicidade do produto é muitas vezes a chave para o seu sucesso e a sua eficiência. O foco principal é arranjar alternativas de modelos mais onerosos atualmente disponíveis no mercado, que proporcionem um desempenho semelhante ou superior a um custo significativo inferior. Contudo, não é descartada a opção de encontrar produtos no mercado que justifiquem o seu valor e que possam ser utilizados neste processo de medição de tensão.

Ao longo deste capítulo, exploraremos em detalhe o processo de criação e teste dos protótipos, destacando os princípios de funcionamento, os desafios enfrentados e as vantagens oferecidas por essas soluções.

4.1. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO 1

O desenvolvimento deste protótipo irá consistir na aplicação do conceito de um modelo existente no mercado, num protótipo simplificado de forma a perceber se este pode ser aplicado na Cap-strip. O modelo que servirá de padrão é o LT (*Low Tension Transducer*) da empresa DFE (*Dover Flexo Eletronics*), que já foi mencionado no capítulo 3.3.2, na Tabela 3.6.

4.1.1. DOVER FLEXO ELETRONICS – LT TRANSDUCER

Este modelo é utilizado em aplicações de processamento de filamentos, fibras, fitas e fios, onde se requer um controlo de tensão a níveis baixos. O seu funcionamento consiste na conversão da tensão do filamento numa tensão CC proporcional à carga. À saída do transdutor pode ser montado um controlador de tensão automático que gere tensão num circuito de malha fechada, regulando um dispositivo de binário, tal como um travão, embraiagem ou sistema de acionamento.

Este modelo está disponível em dois tipos de configuração, empilhamento e roscada. A configuração de empilhamento possibilita a acoplação de diversos transdutores no mesmo espaço. A configuração de caixa roscada instala-se facilmente num orifício da estrutura da máquina. A direção de força pode ser facilmente ajustada através do desaperto das porcas de aperto seguida pela rotação da caixa do transdutor para a posição correta. No equipamento está marcado uma seta que deve ser alinhada juntamente com a direção por qual a força está a ser aplicada na tira.

As rodas do transdutor são leves, de alumínio anodizado com revestimento duro. São duráveis, de baixa inércia e equipadas com rolamentos de esferas de grau instrumental.

Atualmente, a classificação de carga do equipamento passa pelos seguintes pesos: 50, 100, 200, 500, 1000 e 2000 g. É um equipamento de baixo custo, com uma construção robusta e um tamanho compacto. Tem uma temperatura de funcionamento de $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $93\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ademais, proporciona precisão e longevidade superiores aos restantes equipamentos no mercado.

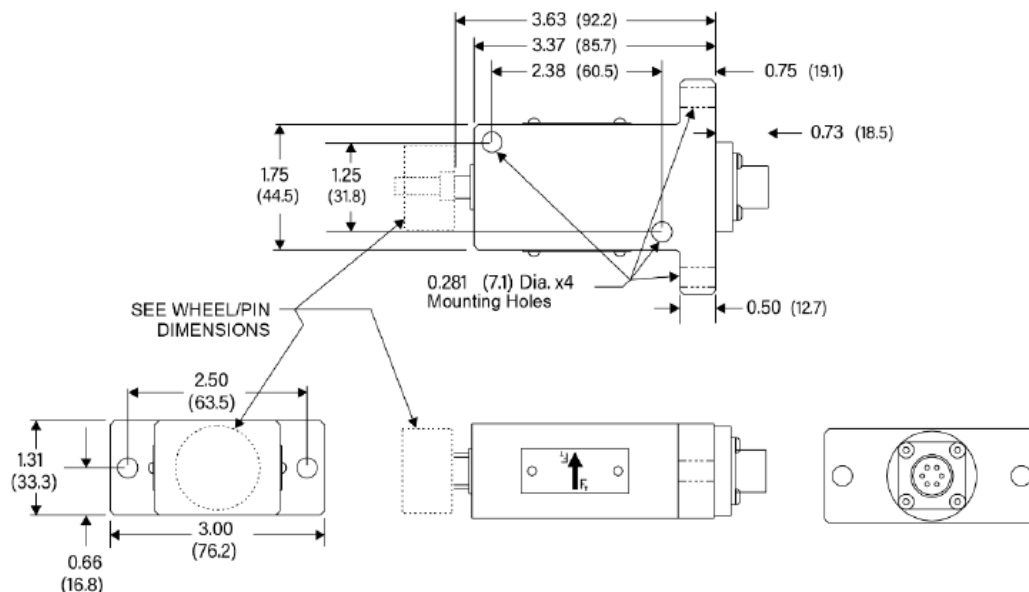


Figura 4.1.1 – Os diferentes/possíveis setups do equipamento de medição de tensão do *Dover Flexo Eletronics*. [13]

Na Figura 4.1.1, está representado o sistema de montagem de aparafusamento do LT Transducer. Os furos de encaixe estão designados como *mounting holes*. Os parafusos podem ser colocados em duas das quatro posições acima destacadas. Já o corpo em si do instrumento de medição de tensão tem de ser ajustado para que a seta que indica a direção de atuação da força esteja de acordo com a tensão que se pretende medir. Caso contrário, os valores lidos estarão longe dos que se querem medir [13].

4.1.2. ÂNGULO DE ENVOLTÓRIO E A SELEÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DA CARGA

No caso da utilização deste tipo de transdutor, é necessário determinar a classificação de carga (*Load Rating*) adequada para o tipo de aplicação. Esta classificação é obtida conforme as instruções do manual do equipamento, que exigem a consideração de certos parâmetros, como o ângulo de envolvimento e a força resultante (*Net Force*), ver Figura 4.1.2.

Uma vez que será de difícil acesso obter o ângulo de envolvimento no decorrer do funcionamento do processo das tiras de cap ply, o ângulo terá de ser medido de uma forma diferente. A solução para isto, passa por tirar uma fotografia do setup atual do equipamento, com a tira enrolado na roda do braço em que se quer medir a tensão. Após a obtenção da fotografia esta será analisada no computador. Com recurso ao software Fusion360, é possível converter as tiras de cap ply que enrolam à volta da roda em linhas. Deste modo, consegue-se obter o ângulo C que irá servir como ponto de partida para calcular o ângulo B ($180^\circ - C$).

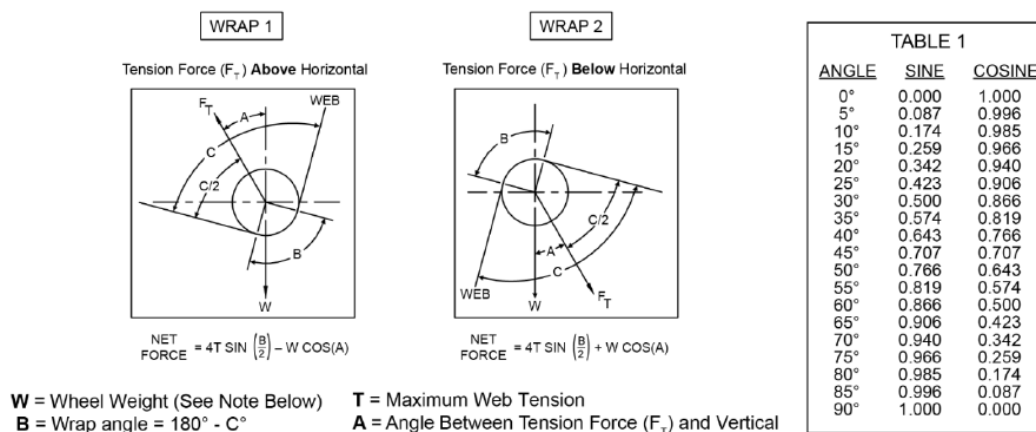


Figura 4.1.2 - Obtenção da força resultante de acordo com o manual da *Dover Flexo Eletronics* para o aparelho *LT Low Tension Transducer*. [13]

Tradução da figura: (**Wheel Weight** = Massa da roda; **Wrap Angle** = Ângulo de envoltório; **Maximum Web Tension** = Tensão máxima da tira; **Angle Between Tension Force (F_T) and Vertical** = Ângulo entre a Força de Tensão (F_T) e a Vertical).

Após obter-se o ângulo de envoltório, será necessário saber qual a tensão atual do filamento. Tendo em conta diversos problemas, será difícil arranjar este valor pois não se quer interromper o processo de enrolamento da tira, nem danificar qualquer material. E quando a máquina entra em manutenção preventiva, a tira não se encontra nesta zona da máquina. Por este motivo, apenas seria possível arranjar o valor da tensão deste filamento, se a máquina já tivesse acoplado um equipamento de medição de tensão, tal como um transdutor. O manual da *Dover Flexo Eletronics* dispõe de alguns valores de tensão típicos para materiais de filamentos. Contudo, não dispõe a tensão para o material em questão (Borracha + cordas têxteis).

Caso se tivesse o valor da tensão do filamento, poderia se recorrer à equação disponibilizada pela *Dover Flexo Eletronics*, que se encontra na Figura 4.1.2. Através dos parâmetros fornecidos no manual e tendo em conta o tipo de enrolamento do filamento ao redor da roda e a direção da força de tensão (acima, abaixo ou na horizontal), obter-se-ia o valor da força de tensão da tira.

Na altura da paragem, será possível fazer uma inspeção mais detalhada à máquina e, possivelmente colocar lá o aparelho de medição simplificado para testagem. Caso não seja possível colocar o aparelho na máquina, terá de se efetuar os testes na oficina do departamento de manutenção preventiva da engenharia 3. Esta oficina consta com tudo o que é necessário para que se efetuem os testes. Apenas terá de ser utilizada uma tira diferente à atual do equipamento.

Com o valor da força resultante, poderá se escolher a classificação de carga adequado para o transdutor da *Dover Flexo Eletronics*, através dos valores na Figura 4.1.3.

LOAD RATING CHART			
Net Force		Load Rating	
grams	lbs	grams	lbs
up to 60	(0.13)	50	(0.11)
60 - 120	(0.13 – 0.26)	100	(0.22)
120 - 240	(0.26 – 0.52)	200	(0.44)
240 - 600	(0.52 – 1.32)	500	(1.10)
600 - 1200	(1.32 – 2.64)	1000	(2.20)
1200 - 2400	(2.64 – 5.29)	2000	(4.40)

Figura 4.1.3 – Tabela fornecida pela *Dover Flexo Eletronics* com os valores da classificação de carga a ser utilizados dependentes da Força de Tensão.

Tradução da figura: (**Net Force** – Força resultante; **grams** – gramas; **Load Rating** – Classificação de carga).

4.1.3. SENSOR DE PRESSÃO

Uma alternativa para o modelo da Dover Flexo Eletronics descrito acima, é a utilização de um protótipo que envolva sensores de pressão, tal como o DF9-40, ver Figura 4.1.4. Estes sensores são objetos delicados de baixo custo e de pequenas dimensões. São dispositivos que variam a sua resistência em função da pressão a que estão sujeitos. O resultado é uma variação da resistência que está relacionada com a força média aplicada sobre a sua área sensível. Como se pode ver na Tabela 4.1, estão destacadas as principais características do equipamento em questão.

Tabela 4.1 - Características do sensor DF9-40 [14].

Características do sensor	
Comprimento	40 mm
Diâmetro externo da área de deteção	10 mm
Diâmetro interno da área de deteção	7.5 mm
Passo do pino	2.54 mm
Tolerância	0.2 mm
Resistência inicial do sensor	> 10 MΩ (Descarregado/ <i>Unloaded</i>)
Intervalo de forças	0 – 10 kg
Precisão	± 2.5% (85% do intervalo de força)
Tensão de teste	DC 3.3 V
Temperatura de funcionamento	-20 °C – 60 °C

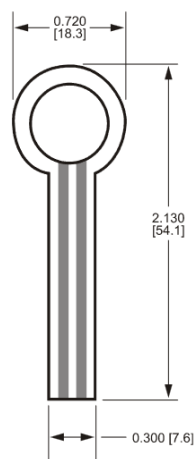


Figura 4.1.4 – Sensor de pressão, modelo DF9-40 @ 10 kg [15]

Através do gráfico abaixo, ver Figura 4.1.5, podemos observar a linha característica para a alteração da resistência consoante uma força que é aplicada no sensor. Neste caso em específico observa-se que para um peso inferior ou equivalente a 0.3 kg, a variação da resistência é bastante acentuada. Logo, este sensor é muito sensível para pesos desta magnitude.

Com esta curva é possível determinar qual a força que está a ser lida pelo sensor através da leitura da resistência no voltímetro. De forma a averiguar que os resultados obtidos ao longo do ensaio da medição de tensão são fidedignos, terá de ser realizada uma calibração ao sensor a ver se os valores lidos pelo aparelho correspondem aos valores do gráfico da Figura 4.1.5.

Ao utilizar este sensor, a leitura dos valores será realizada por meio de um multímetro, expressos em Ohms ou Volts. Assim, será necessário converter esses valores para Newtons, e o próximo subcapítulo fornecerá uma explicação detalhada sobre como efetuar essa conversão de forma adequada.

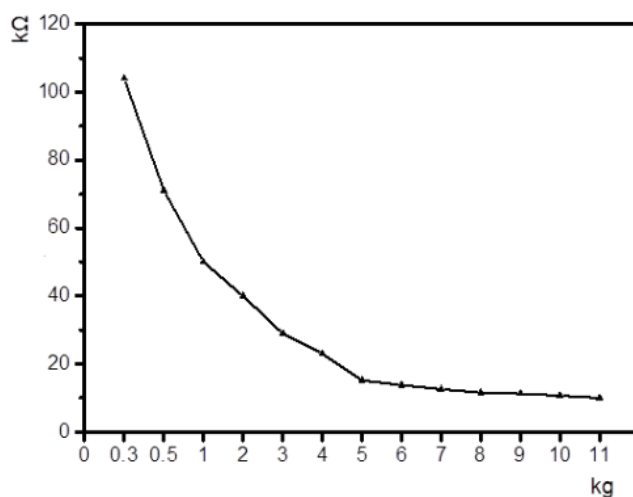


Figura 4.1.5 - Linha característica para a alteração da resistência em relação à força aplicado no sensor. [14]

Para medir a variação da resistência utilizando um sensor de força, é necessário acoplá-lo a um circuito elétrico capaz de registrar essa mudança de resistência, a qual corresponderá à força exercida sobre o sensor.

O circuito da ponte de Wheatstone pode ser empregue como uma alternativa ao voltímetro ou multímetro. Enquanto o multímetro mede diretamente a tensão ou a corrente do circuito, o circuito de Wheatstone foi concebido para comparar resistências conhecidas ou variáveis. Este circuito consiste numa ponte de 4 resistências, onde a medição é realizada comparando as resistências em diferentes ramos do circuito. Além disso, o circuito de Wheatstone pode ser configurado para fornecer uma saída proporcional à mudança da resistência, o que é útil em aplicações sensoramento, onde a saída precisa de ser linear em relação à variável física medida.

Assim, embora um voltímetro possa ser mais prático e conveniente para medições, o circuito de *Wheatstone* proporcionará resultados mais precisos e adequados para este tipo de medição.

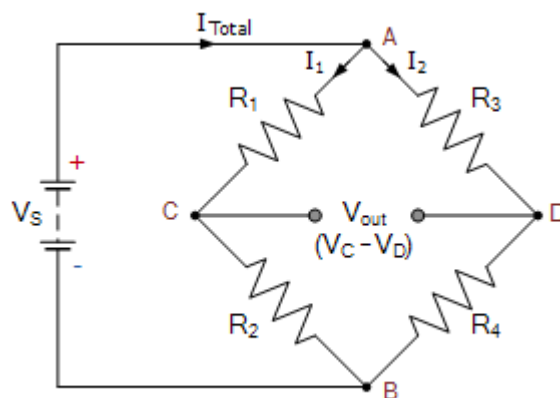


Figura 4.1.6 - Ponte de Wheatstone.[16]

Como podemos observar pela Figura 4.1.6, e como já foi referido anteriormente, o circuito consiste em quatro resistências. Se trocarmos um desses resistências por uma outra resistência, ver Figura 4.1.7, cujo valor pode ser conhecido ou desconhecido, a resistência oposta deverá ser ajustada de forma a manter o equilíbrio do circuito e continuar com um output de voltagem igual a zero [16].

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} = 1 \quad (4.1)$$

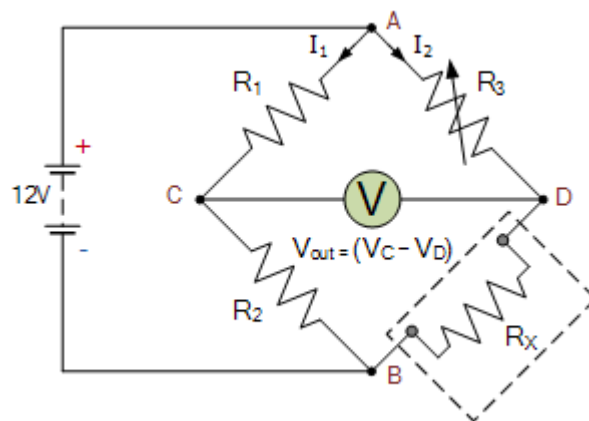


Figura 4.1.7 - Ponte de Wheatstone com variável desconhecida, R_x . [16]

Para calcular o valor da resistência R_x , deve-se utilizar a seguinte equação (4.2).

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \quad (4.2)$$

4.1.4. CONVERSÃO DO VALOR DA RESISTÊNCIA PARA UM DE FORÇA (CURVA DE CALIBRAÇÃO)

De forma a converter a variação da resistência, em ohms, lida no multímetro para o valor de força que está a ser aplicado no sensor de força, em Newtons, será necessário estabelecer uma curva de calibração que irá relacionar a variação da resistência à força aplicada. Esta curva de calibração será obtida através de uma série de medições utilizando forças conhecidas e registrando as correspondentes variações de resistência. Resumidamente, o processo descrito acima segue-se da seguinte forma:

1. Materiais em causa:
 - a. Sensor de força em resistências;
 - b. Pesos/Forças conhecidas;
 - c. Multímetro;
 - d. Dispositivo de registro de dados.
2. Configuração do sistema de medição:
 - a. Conexão do sensor de força em resistores a um multímetro;
 - b. Certificação de que o sensor de força esteja corretamente montado e alinhado para uma aplicação precisa de força.
3. Estabelecer a curva de calibração:
 - a. Começar com o sensor de força no estado relaxado (sem força aplicada);

- b. Aplicar uma força conhecida ao sensor e registrar a leitura da resistência correspondente do multímetro;
 - c. Repetir o passo acima para um determinado intervalo de valores.
- 4. Tracejamento da curva de calibração:
 - a. Criação de um gráfico com a força (em newtons) no eixo y e a resistência (em ohms) no eixo x;
 - b. Usar os valores de força e resistência para delinear os pontos de dados;
 - c. Ajustar uma curva ou linha através da união dos pontos de dados.
- 5. Converter a variação de resistência em força:
 - a. Medir a variação da resistência no sensor de força utilizando o multímetro;
 - b. Consultar a curva de calibração e encontrar o valor de força correspondente à leitura de resistência no multímetro.

4.1.5. PROPOSTA DO PROTÓTIPO

O transdutor de baixa tensão da Dover Flexo Eletronics, ver Tabela 3.6, foi escolhido primeiramente para a concepção deste protótipo. Como esboço inicial da concepção do sistema este dispositivo parece ser o mais simples para a fabricação e montagem.

A adaptação do funcionamento da Dover Flexo Eletronics será implementada no protótipo. O uso do sensor de pressão implica a presença de um componente que estabeleça o contacto entre este e o sensor, permitindo a medição dos valores relacionados com a força de tensão durante o processo.

A passagem da tira pela roda induzirá desvios transversais do braço, ilustrados na Figura 4.1.8 e esboço da Figura 3.3.2, através de uma seta vermelha. Este fenómeno já acontece na máquina atual, contudo, devido a que a roda tem o seu eixo fixo, juntamente com o peso do braço e dos restantes componentes, é necessário arranjar um sistema no protótipo que possibilite a ocorrência destes movimentos e, que este seja perceptível e maximizado de forma que seja possível obter valores que possam ser lidos pelo sensor e futuramente analisados.

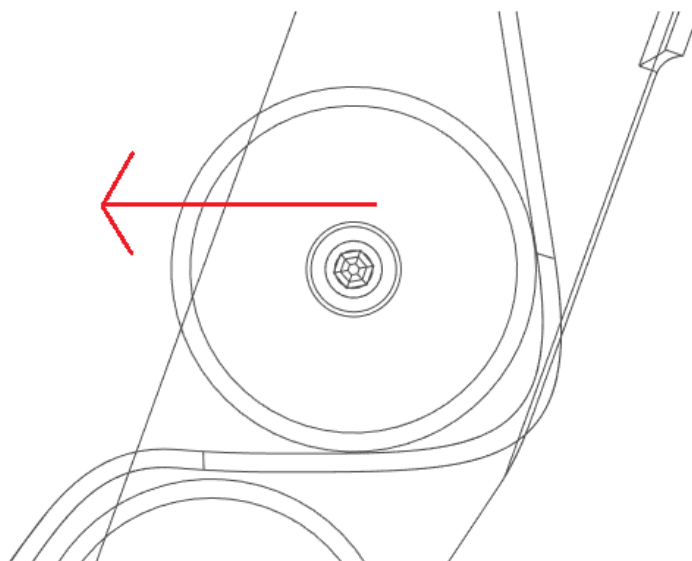


Figura 4.1.8 - Ilustração da movimentação transversal que a roda sofre devido à passagem da tira pela roda. Sentido da movimentação está representado pela seta vermelha.

O componente que entra em contacto com o sensor precisa de estar de alguma forma relacionado com a roda. Surge então a proposta de utilizar um guia, que se moverá transversalmente devido à força exercida pela tira na roda ao longo da sua passagem pela mesma, Figura 4.1.9.

A conexão entre o guia e a roda será realizada através de duas placas: uma para acoplar a roda (Designada por placa de suporte) e outra para servir como um ponto de orientação, mantendo o movimento do guia estável e linear ao longo de cada placa (Designada por placa interior). A transmissão da força da tira na roda para o movimento transversal do guia ocorrerá pela fixação do mesmo na placa de suporte da roda, utilizando uma porca. Ou seja, uma das extremidades do guia terá de ser roscada. Este detalhe está destacado na Tabela 4.2, na secção do guia, assim como o aspeto dos respetivos conjuntos.

Ambas as placas serão inseridas em uma terceira, designada por placa exterior, que funcionará como um invólucro. Na extremidade de esta placa que serão posicionados os sensores de pressão. Cada placa terá um furo por onde o guia possa mover-se, quer seja para trás ou para a frente. Ademais, será utilizado um tubo de teflon, de modo a garantir um deslizamento mais suave do guia entre cada placa.

Para evitar o acréscimo significativo de peso ao braço da máquina, as placas adotarão um perfil em U e serão confeccionadas em alumínio.

4.1.6. COMPONENTES DO SISTEMA 1

Cada um dos componentes está apresentado na Tabela 4.2, com uma pequena descrição, quer seja da totalidade da peça, ou de apenas um detalhe da mesma. Adicionalmente, é referido o material utilizado para cada um dos componentes. No Anexo B encontram-se os desenhos técnicos concebidos e utilizados para a produção de cada uma das peças.

Cada um dos componentes será produzido por uma empresa subcontratada pela Continental Mabor, sendo esta a Moldamirco-Metalomecanica de Moldes e Ferramentas, LDA.

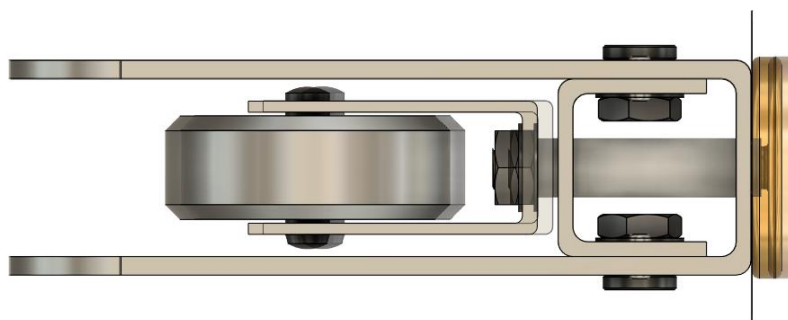


Figura 4.1.9 - Representação do movimento do guia e dos restantes componentes no sistema de medição 1.

Tabela 4.2 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 1.

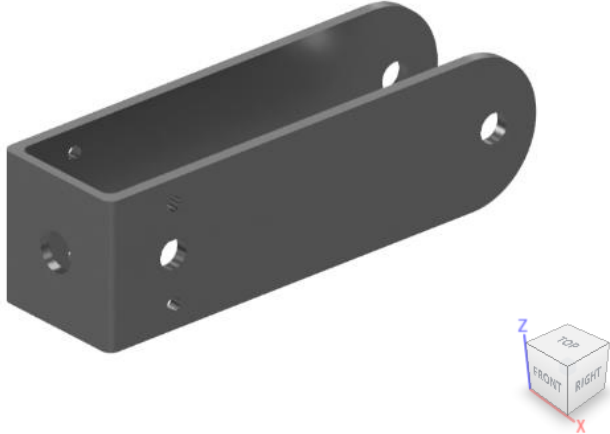
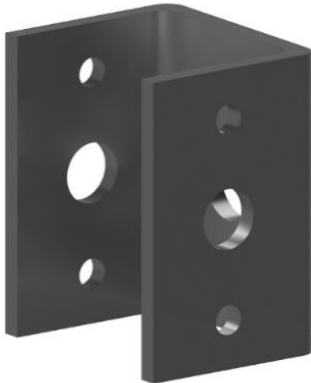
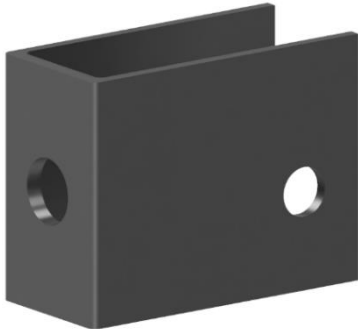
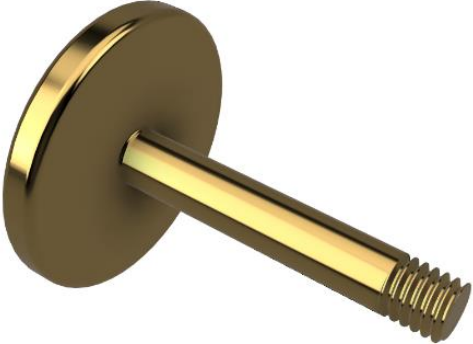
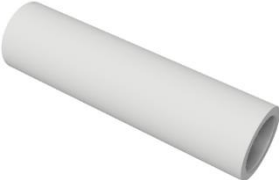
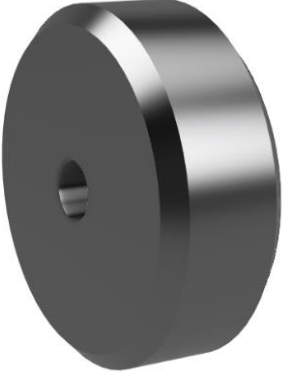
Componentes + Descrição	Ilustração
Placa Exterior Os dois furos de menor dimensão têm o propósito de acoplar cavilhas que impedirão o movimento rotacional da placa interior. Desta forma evita-se que o guia sofra qualquer movimento na direção do eixo Z. Material: Alumínio	
Placa Interior De notar os dois furos mencionados na acima na placa exterior. O furo do meio é utilizado para colocar parafusos em ambos os lados, de forma a fixar esta placa à placa exterior. Material: Alumínio	
Placa de Suporte da Roda O furo lateral é utilizado para colocar o pino que servirá como o eixo de rotação da roda. Material: Alumínio	

Tabela 4.2 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 1. (Continuação)

Componentes + Descrição	Ilustração
Guia Tal como já foi mencionado no capítulo 0, o guia é roscado na sua extremidade para, posteriormente, ser colocado uma porca que irá fixar este à placa de suporte da roda. Material: Latão	
Tubo Utilizado para facilitar a passagem do guia, uma vez que elimina o contacto direto do guia com os furos das placas. Material: Teflon	
Roda Contem o mesmo diâmetro ao da roda utilizada na máquina. Material: Alumínio	

4.1.7. ASSEMBLAGEM DOS COMPONENTES EM 3D

Esta etapa de montagem no software de modelação 3D permite uma visualização holística do sistema final. Ao unir cada componente modelado previamente, é possível não apenas avaliar sua integração na Cap-strip, mas também obter uma perspectiva detalhada da estética e do processo de montagem.

A Figura 4.1.10 e Figura 4.1.11 exibem o protótipo completo, com a montagem de todos os componentes, enquanto a Figura 4.1.12 ilustra a sua disposição no braço da cap-strip.



Figura 4.1.10 - Vista em perspectiva do protótipo 1 no software Fusion360.

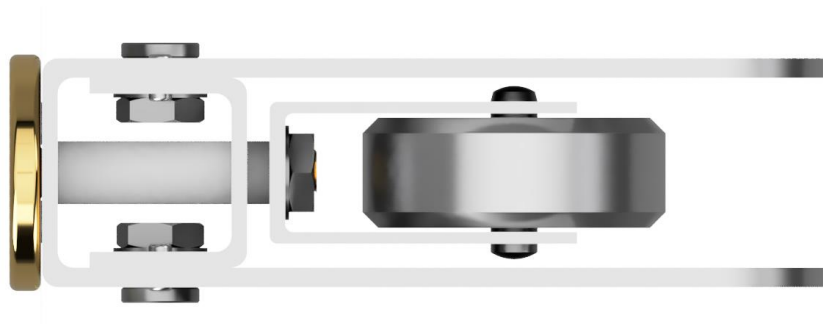


Figura 4.1.11 - Vista de cima do protótipo 1 no software *Fusion360*.

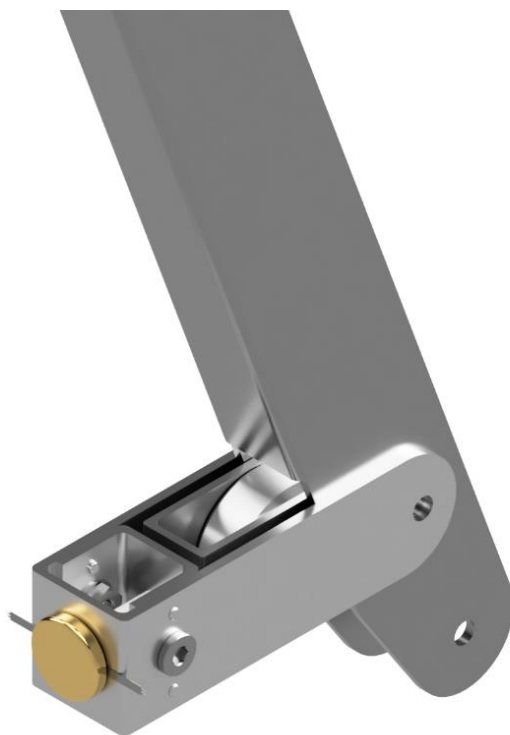


Figura 4.1.12 - Posicionamento do protótipo no braço da Cap-strip.

Este método de medição difere do atual modelo da Dover Flexo Eletronics uma vez que possui certas características diferentes. A começar pelas dimensões do aparelho. O equipamento da DFE é de maior dimensão e irá necessitar a que sejam efetuadas alterações no atual modelo do braço de cap-strip para que a roda (onde passa a tira de cap ply) consiga ser colocado entre as paredes interiores do referido braço. Terá de ser acoplado uma plataforma de suporte de fixação do aparelho para este puder funcionar no decorrer do funcionamento da máquina, aumentando bastante a massa do braço.

4.1.8. AMPLIFICADOR OU CONTROLADOR DE TENSÃO

Neste capítulo discute-se a opção entre utilizar um amplificador ou controlador de tensão de malha fechada, de forma a ler os sinais transmitidos pelo transdutor e transmiti-los para o motor de travagem já existente na máquina (cap-strip).

Comparando os dois equipamentos, podemos destacar logo um dos fatores mais importantes para a possível implementação na máquina, que é o dimensionamento de cada um. Os controladores de tensão ocupam muito mais espaço em relação aos amplificadores, sendo que são aparelhos mais sofisticados com funções mais complexas e completas que os amplificadores. Alguns dos modelos da DFE contam com uma largura de aproximadamente 200 mm e uma altura de 250 mm. Por outro lado, alguns dos amplificadores chegam aos 25 mm de altura e 20 mm de largura. Logo, claramente se

percebe que seria de uma naturalidade muito mais simples e fácil, a montagem do amplificador no atual setup da Cap-strip.

Contudo, o sistema de montagem dos controladores de tensão de malha fechada, possibilita a sua montagem em paredes. Com isto, existe a possibilidade de colocar os controladores de tensão na parede interior da Cap-strip, possivelmente numa região perto da bobine de enrolamento.

Outro fator a ter em conta é a funcionalidade de cada equipamento. Enquanto o amplificador apenas permite amplificar o sinal transmitido pelo transdutor de maneira que os restantes equipamentos conseguem “trabalhar” com esse sinal, o controlador de tensão fazer o mesmo e algo mais. Esse algo mais passa por fazer uma comparação entre o sinal lido e um valor, denominado por “set point”, que é definido numa etapa anterior ao começo de operação do controlador. Se o valor lido estiver fora do intervalo definido do “set-point” irá ser transmitida a informação necessária para que a máquina ajuste os seus parâmetros de forma que o valor lido no transdutor esteja entre o intervalo estabelecido.

Adicionalmente, deve-se ter em conta o precário de cada equipamento. Uma vez que uma cap-strip conta com 16 bobines no total, é possível que sejam necessários 16 equipamentos.

4.1.9. TESTES

Mesmo estando localizado em uma posição bastante próxima do ponto de ação do enrolamento, esta região da fita praticamente não demonstra qualquer tensão significativa, e, caso houvesse, seria de magnitude bastante reduzida. Dessa forma, seria imprescindível o uso de um dispositivo com resolução e sensibilidade inferiores ao sensor atualmente disponível, capaz de mensurar esses valores mínimos. Geralmente, tais dispositivos são mais dispendiosos em comparação aos modelos destinados à medição de grandezas consideradas mais substanciais.

A Figura 4.1.13 apresenta a versão física do sistema de medição 1 desenvolvida em conjunto com a Continental Mabor e a Moldamirco-Metalomecanica de Moldes e Ferramentas, LDA.

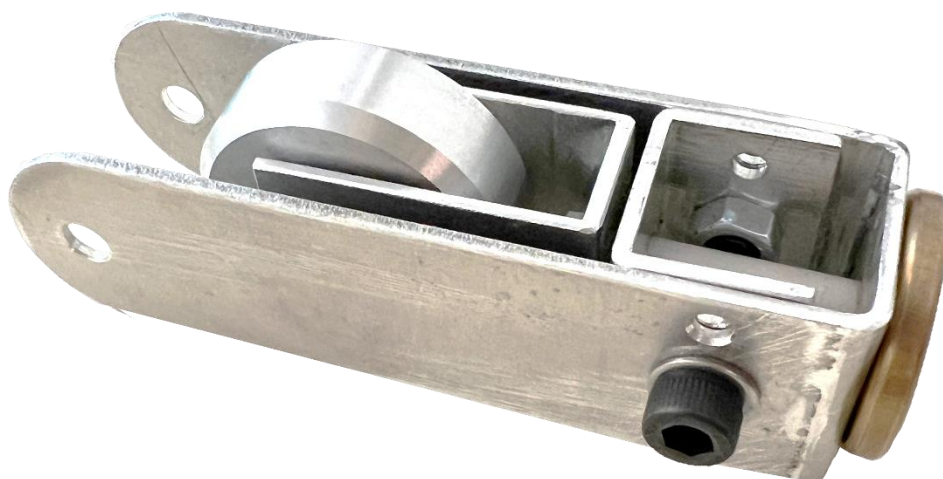


Figura 4.1.13 – Fotografia da versão física do protótipo 1.

4.2. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO 2

O tema da presente dissertação concentra-se na busca de uma solução para medir e controlar a tensão das tiras de cap ply, que por sua vez possibilite a otimização do processo de enrolamento de forma eficaz. Nesse sentido, é crucial considerar a constante necessidade de aprimorar o referido processo, uma vez que melhorias que conduzam a um aumento na eficiência são vitais. Logo, torna-se necessário encontrar uma solução que atenda a esses requisitos.

O cenário original, apresentado no capítulo anterior, no qual o primeiro protótipo seria implementado, apresentou desafios significativos que iriam afetar a eficácia do desenrolamento das tiras. Estas limitações não se limitaram apenas no local de implementação, pois a própria qualidade do “instrumento” de medição demonstrou falhas significativas, tornando-o inadequado para o processo de produção das tiras nas cap-strips.

Em primeiro lugar, ao contrário das expectativas, a tensão da tira entre os rolamentos do braço e a bobine onde será enrolada era praticamente inexistente. Isso ocorria porque a tira estava, de certa forma, solta e não gerava quase nenhum movimento do guia do protótipo contra o sensor de medição. Como resultado, devido à sensibilidade do sensor e a falta de contacto entre componentes, tornava-se difícil obter leituras confiáveis, levando a valores imprecisos e ineficazes, o que comprometia a qualidade do processo de produção.

Além disso, notou-se o risco de a tira ficar bloqueada ou arrastar-se em uma das extremidades do braço, conforme ilustrado na Figura 4.2.1, devido à configuração do protótipo primário. Isto iria levar à alteração da qualidade da tira, pois iria sofrer desgaste através do contacto com o braço da cap-strip.

Este fator apenas foi possível de se encontrar aquando da montagem do equipamento da máquina, pois seria de alguma complexidade ter o correto posicionamento da tira no software de modelação utilizado para a criação do protótipo. Isso não apenas atrasava a produção. Mas também exigia modificações no design do protótipo para garantir um funcionamento mais suave.

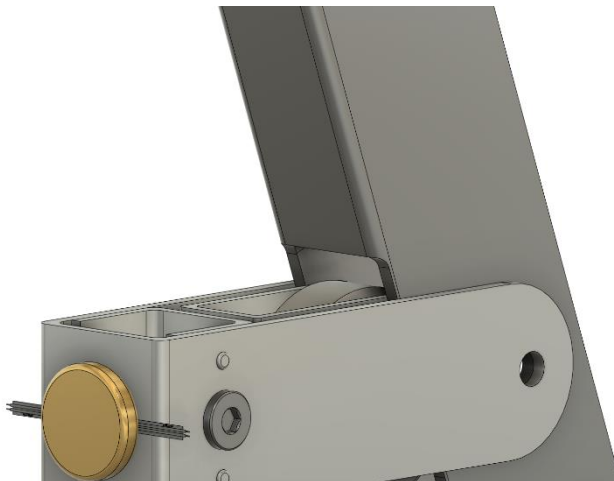


Figura 4.2.1 - Demonstração do curto espaço entre a roda e o braço que inibe contacto da tira com o braço da cap-strip, o que contribui para o possível desgaste e dano da qualidade da tira.

Outro desafio enfrentado foi a qualidade do produto. Após a montagem de cada componente individual para formar o conjunto do protótipo, juntamente com a avaliação realizada na máquina em colaboração com os engenheiros da Continental Mabor, reparou-se em uma baixa rigidez e estabilidade dimensional do protótipo. Consequentemente, este iria apresentar falhas após apenas alguns ciclos de utilização de operação na máquina. Neste ponto de operação do processo, é de demais importância não alterar significativamente o peso, pois isso afetaria o movimento do braço e, por sua vez, a tensão de enrolamento atual da máquina, o que poderia resultar em um enrolamento incorreto das tiras de cap ply.

Certos pormenores acentuariam a peça para algo mais robusto. Substituir a porca por um freio de um lado e do outro (entre o guia e a parede de suporte). Tubo de teflon que veio não estava nas melhores das condições. Falta de uso de rolamentos na roda, para permitir uma rotação mais suave. Utilização de freios no eixo de rotação da roda para impedir o movimento translativo do mesmo.

Portanto, é imperativo reconsiderar a localização de medição para evitar estes problemas destacados e aprimorar a eficiência do processo.

A solução proposta consistiu na alteração do local de medição para a área da máquina após o setor de resfriamento das tiras. Esta mudança estratégica permitiria o controlo da tensão das tiras antes de cada motor de frenagem, o que era exatamente o objetivo a ser alcançado, permitindo ajustes na

tensão das tiras de enrolamento. Além disso, esta localização apresenta um conjunto de vantagens que a solução anterior seria incapaz de fornecer.

Ao estudar este novo local, destacou-se imediatamente uma mais-valia que poderia ser explorada em relação à simplicidade da nova solução. Esta vantagem passa pela presença de uma estrutura fixa de suporte com eixos equipados com rolos pelas quais as tiras de cap ply passam, ver Figura 4.2.2. Nesta área, as tiras encontram-se esticadas e tensionadas, fornecendo uma base sólida para a medição de tensão. A adaptação desta estrutura para incluir um sistema de medição de tensão, implica poucas modificações no equipamento existente e não interfere com o funcionamento atual da cap-strip, reduzindo custos e o tempo necessário para implementação da solução.

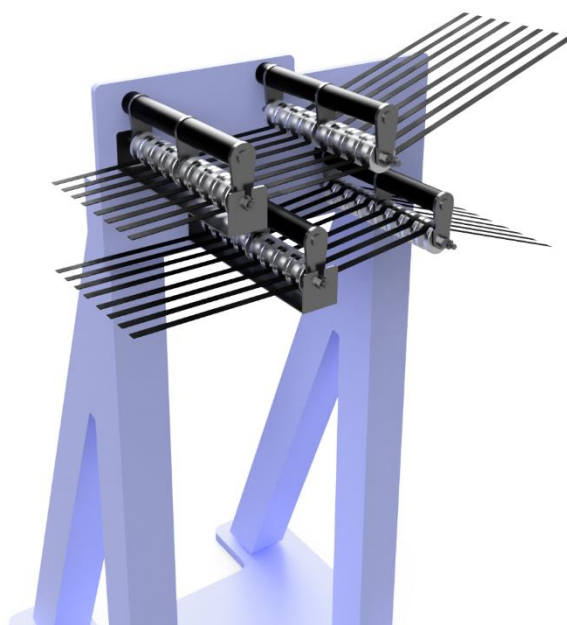


Figura 4.2.2 - Estrutura fixa de suporte da cap-strip onde será implementado o novo protótipo de medição de tensão das tiras de cap ply.

Além disso, a mudança para o novo local possibilita uma solução mais ergonômica em comparação com o local de implementação do protótipo inicial. Isto permite melhorar o ambiente de trabalho e a segurança dos operadores, tornando o processo de operação mais eficiente e agradável.

Resumindo, a alteração do local inicial de medição de tensão das tiras na máquina de produção mostrou-se uma medida essencial para aprimorar a eficiência do processo. A mudança para este novo local, aproveitando o suporte existente, vai oferecer uma solução viável e eficaz, garantindo uma medição precisa da tensão das tiras e, ao mesmo tempo, proporcionando um ambiente de trabalho mais ergonômico. Esta abordagem ilustra a importância da inovação e da adaptação contínua em ambientes industriais para manter a eficiência e a qualidade de produção.

4.2.1. CÉLULA DE CARGA

Neste capítulo, será abordado a seleção de uma célula de carga para uso em um protótipo destinado à medição da tensão das tiras de cap ply na Cap-strip. Antes de se iniciar uma pesquisa no mercado, semelhante à realizada para os transdutores investigados no caso de estudo do protótipo 1, optou-se por explorar uma abordagem que alia a praticidade e a eficácia. A razão para esta escolha reside no facto de que a Continental Mabor já utiliza células de carga específicas para diversos fins em diversas operações.

Após o enrolamento e armazenamento das tiras de cap ply, estas são posteriormente empregadas nas máquinas PU (Production Unit) com o propósito de reforçar a carcaça do pneu. Durante o processo de aplicação das tiras, a Continental realiza o controlo da tensão por meio de células de carga compactas. Essas células de carga medem a compressão que ocorre entre duas placas no decorrer da aplicação das tiras.

Nesse sentido, identificou-se a oportunidade de aproveitar as células de carga já em uso nas máquinas PU's para integrá-las ao processo na Cap-strip. Isso deve-se ao facto de que já se tem informações sobre o custo e o desempenho do equipamento, além de contar com unidades disponíveis em *stock* que podem ser utilizadas para testar o protótipo, como será discutido posteriormente neste capítulo.

As células de carga em questão, que são utilizadas nas máquinas PU, da marca KISTLER, uma empresa sediada em *Winterthur*, Suíça, reconhecida como pioneira em tecnologias de medição dinâmica de pressão, força, binário e aceleração, com experiência em diversas indústrias e aplicações. O modelo específico utilizado nas máquinas PU's é o 9301C, e os detalhes técnicos relativos a essa célula de carga estão destacados na Tabela 4.3. Essa escolha fundamenta-se na confiabilidade e na expertise da empresa KISTLER, como também na disponibilidade do modelo, que atende às necessidades do projeto em questão.



Figura 4.2.3 – Célula de carga, Modelo 9301C da KISTLER. [17]

Tabela 4.3 - Dados técnicos da célula de carga 9301C da KISTLER.

Dados Técnicos	9301C	
Força Nominal	kN	± 3
Alcance/Faixa Calibrada 1	kN	0 ... 3
Alcance/Faixa Calibrada 2	kN	0 ... 0.03
Alcance/Faixa Calibrada 3	kN	0 ... -3
Sensibilidade	pC/N	-3.1 $\pm$ 0.3
Força Máxima	kN	± 3.3
Peso	g	14

Conforme evidenciado na Tabela 4.3 este equipamento apresenta diferentes intervalos de leitura. O primeiro abrange os 0 a 3000 Newtons, o segundo varia de 0 a 30 Newtons e o terceiro compreende de 0 a -3000 Newtons. Dado que a tensão das tiras é relativamente baixa, durante a fase de testes e de operação optaremos pela utilização do modo de calibração 2, sendo este o mais apropriado para o conjunto de valores que se antecipam.

4.2.1.1. DIMENSÕES TÉCNICAS, FUNCIONAMENTO E TIPOS DE MONTAGEM DA CÉLULA DE CARGA

Para o desenvolvimento do design do protótipo de medição é imperativo obter um conhecimento detalhado das especificações técnicas da célula de carga. O entendimento das dimensões técnicas da célula de carga proporciona as bases necessárias para conceber um protótipo preciso e eficaz.

Além das dimensões técnicas, é igualmente importante compreender os diferentes tipos de montagem de célula de carga, o seu modo de funcionamento e o processo de calibração. Estas

informações são fundamentais para assegurar que a célula de carga seja utilizada de forma adequada e que as medições sejam confiáveis e precisas.

Com base nestes detalhes cruciais, torna-se mais fácil a concepção de diferentes designs para o protótipo de medição. A compreensão completa da célula de carga permite explorar opções de design que se adaptem às necessidades específicas do projeto, garantindo que a medição da tensão das tiras de cap ply na cap-strip seja realizada de forma eficiente e precisa.

As dimensões da célula de carga 9301C podem ser extraídas da Figura 4.2.4. A partir desta representação, é possível determinar as cotas de atravancamento, que incluem uma altura de 25 mm e um diâmetro exterior de 11 mm.

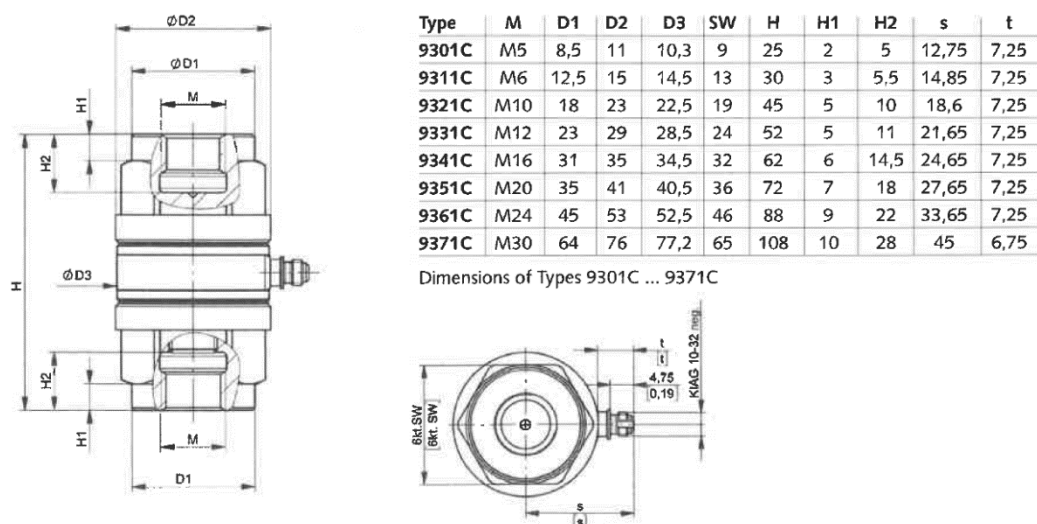


Figura 4.2.4 - Dimensões técnicas da célula de carga 9301C, disponibilizado pela empresa KISTLER na ficha de documentação técnica do produto [17].

No que diz respeito aos tipos de montagem para a célula de carga 9301C, existem três exemplos distintos, todos eles ilustrados na Figura 4.2.5.

No exemplo A, a montagem envolve a introdução de forças de compressão por meio de dois parafusos que estão ligados à célula de carga, a qual se encontra firmemente posicionada entre duas placas.

Já no exemplo B, a montagem é utilizada em aplicações que requerem tanto a aplicação de forças de tração quanto de compressão, sendo obtida por meio de uma peça de extensão.

No exemplo C, observamos a introdução direta de forças de tração e compressão na conexão roscada. Nestas situações, é fundamental utilizar uma porca de segurança para garantir a fixação adequada.

Cada uma destas configurações de montagem apresenta características específicas que as tornam adequadas para diferentes tipos de aplicações e situações de medição de força, proporcionando uma abordagem flexível para atender às necessidades individuais de cada cenário. Para este protótipo irá ser utilizar o princípio do exemplo A.

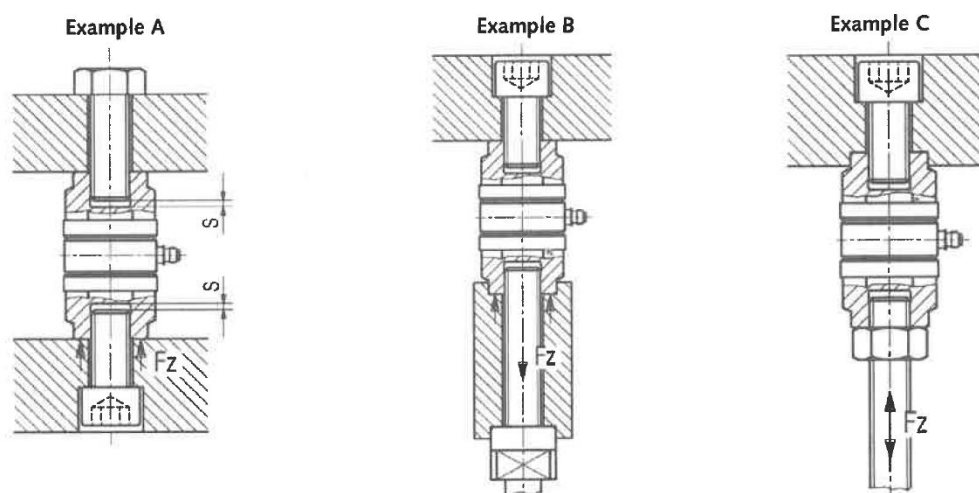


Figura 4.2.5 - Tipos de montagem da célula de carga 9301C. Exemplo A - Introdução de forças de compressão; Exemplo B - carregamento de forças de tração e compressão através de uma peça de extensão; Exemplo C - Introdução de forças de tração e compressão diretamente na conexão rosca. [17]

4.2.2. COMPONENTES

O sistema imaginado está mostrado na Figura 4.2.6 e, cada um dos componentes será catalogado na Tabela 4.4, acompanhado de uma breve descrição que pode abranger a peça como um todo ou detalhes específicos. Além disso, será indicado o material utilizado para cada componente. Os desenhos técnicos correspondentes a cada peça, concebidos e empregados durante o processo de produção, serão encontrados nos Anexos.

A concepção do equipamento foi realizada considerando a facilidade de montagem, especialmente no que diz respeito ao encaixe dos diferentes componentes.

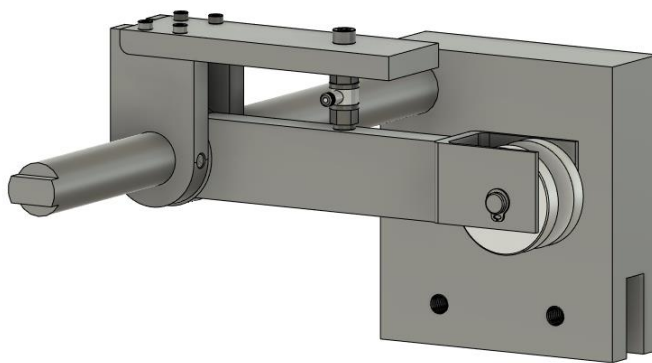


Figura 4.2.6 – Montagem do sistema de medição de tensão no *Fusion360*.

Cada um dos componentes será produzido por uma empresa subcontratada pela Continental Mabor, sendo esta a Moldamirco-Metalomecanica de Moldes e Ferramentas, LDA.

Tabela 4.4 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 2.

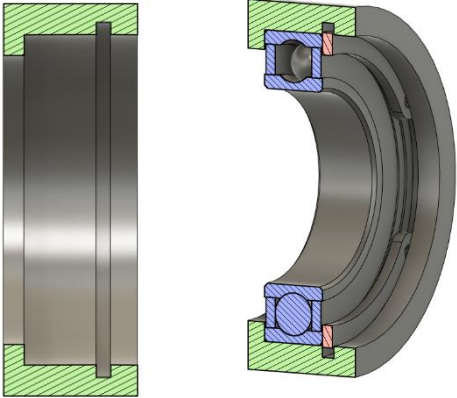
Componentes + Descrição	Ilustração
Anel O anel será empregue para acoplar os rolamentos, os quais possibilitam uma rotação fluida do braço em torno do eixo do veio. Material: Aço	
Através deste corte de secção podemos observar a cavidade onde será colocado o freio interno de diâmetro de 20 mm. Este freio terá o propósito de travar qualquer possível movimento transversal do rolamento (Ver figura da esquerda).	

Tabela 4.4 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 2. (Continuação)

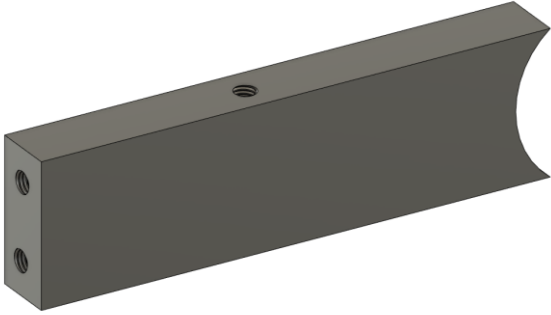
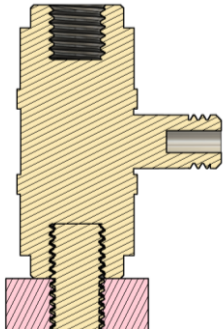
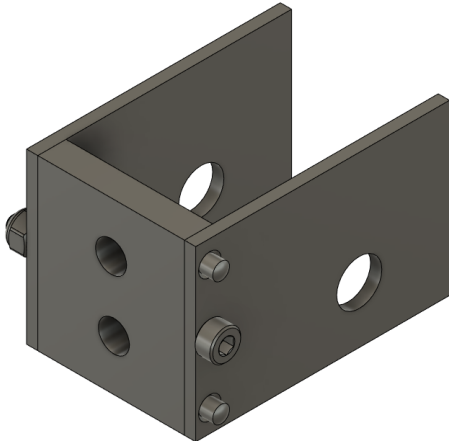
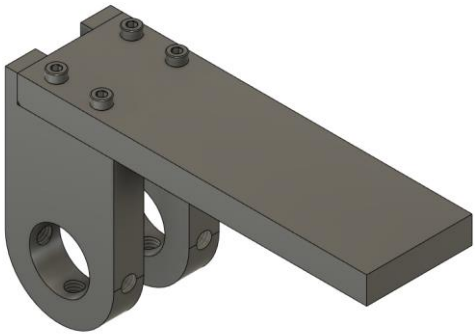
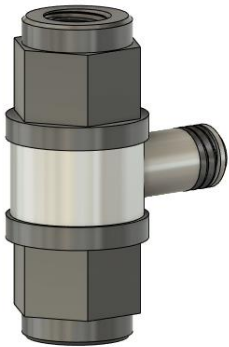
Componentes + Descrição	Ilustração
Braço O braço será utilizado como uma ponte de conexão entre o suporte da roda e o anel, constituindo um dos pontos principais para a atuação da célula de carga. Isso ocorre porque é no furo da face superior que será estabelecido o contato entre a célula de carga e o parafuso, ver figura abaixo. Material: Aço	
	
Suporte da Roda Este suporte assemelha-se ao utilizado na construção do protótipo 1. Neste exemplo optou-se por fabricar três placas individuais (duas de 3 mm de espessura e outra com 5 mm) e uni-las por um parafuso e duas cavilhas. Material: Aço	

Tabela 4.4 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 2. (Continuação)

Componentes + Descrição	Ilustração
Roda Neste caso será utilizada a mesma roda que à presente na cap-strip. Material: Alumínio	
Suporte do veio Este componente é responsável por fixar todo o protótipo à estrutura de fixação presente na cap-strip, ver Figura 4.2.2. Além disso, atua como ponto de ancoragem para o veio que possibilita a rotação dos demais elementos em torno dele. Material: Aço	
Veio Este componente funcionará como o eixo de rotação para o suporte da célula de carga e o braço. Ambos esses elementos podem ser deslocados ao longo do eixo para permitir a medição da tensão em cada tira. Material: Aço	

Tabela 4.4 - Descrição dos componentes utilizados para o protótipo 2. (Continuação)

Componentes + Descrição	Ilustração
Suporte da célula de carga A superfície superior deste componente atua como um ponto de restrição para qualquer movimento ascendente da célula. Os três orifícios em cada arco serão utilizados para fixar parafusos que entrarão em contato com o veio, impedindo qualquer rotação em torno desse eixo. Material: Aço	
Eixo da roda Utilizado para permitir a rotação da roda. Em cada uma das cavidades serão colocados uns freios de 8 mm de diâmetro para restringir a roda aquele espaço. Material: Aço	
Célula de carga	

Para a montagem do equipamento foram utilizadas peças normalizadas, encontradas no catálogo da *McMaster-Carr*.

Choose a Category

Abrading & Polishing
Building & Grounds
Electrical & Lighting
Fabricating
Fastening & Joining
Filtering

All Categories

Fastening & Joining

Fasteners



Screws & Bolts



Threaded Rods & Nuts



Eyebolts



U-Bolts



Nuts



Washers



Shims

Figura 4.2.7 - Catálogo da *McMaster-Carr* utilizado para adquirir as diferentes peças *standard* necessárias para o projeto.

4.2.3. ASSEMBLAGEM DOS COMPONENTES

Cada componente foi cuidadosamente projetado para se encaixar de forma eficiente, simplificando assim a montagem do conjunto. Além disso, foi considerada a facilidade de integrar o protótipo na cap-strip, visando evitar danos ao equipamento existente. Este cuidado extra foi tomado para garantir uma transição suave e sem problemas durante o processo de montagem, preservando a integridade do equipamento atual.

A Figura 4.2.8 exibe o protótipo completo, com a montagem de todos os componentes, enquanto a Figura 4.2.9 ilustra a sua montagem na cap-strip.

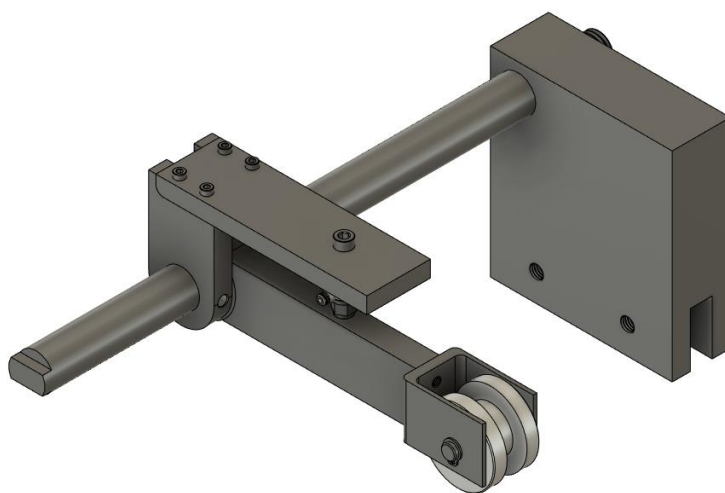


Figura 4.2.8 - Assemblagem de todos os componentes do protótipo final.

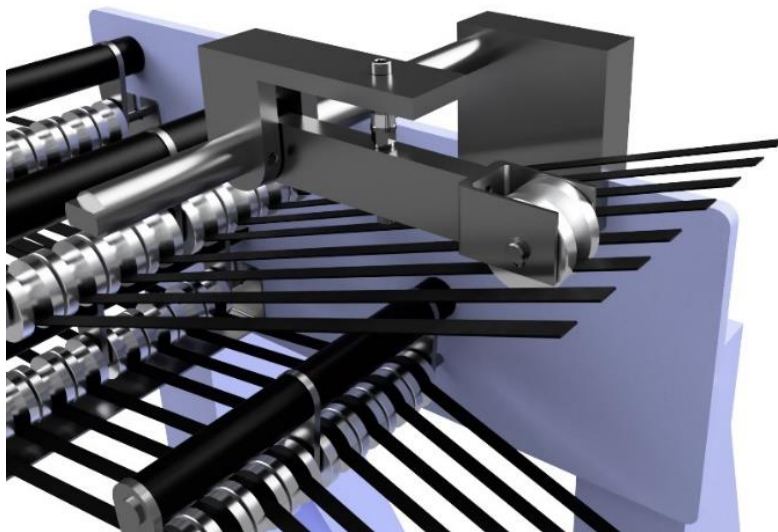


Figura 4.2.9 - Assemblagem do protótipo final na cap-strip.

A montagem do protótipo na estrutura de fixação da cap-strip foi realizada com meticulosidade e precisão para garantir uma integração perfeita e eficiente. Cada componente foi cuidadosamente posicionado e fixado. Após a montagem completa do protótipo, foram realizados testes preliminares para verificar a estabilidade e o funcionamento correto da montagem. Quaisquer ajustes ou correções necessárias foram feitos para garantir que o protótipo estivesse firmemente fixado e pronto para as etapas subsequentes de teste e análise. A Figura 4.2.10 e Figura 4.2.11 demonstram a assemblagem do protótipo na cap-strip.



Figura 4.2.10 - Visão frontal do protótipo na cap-strip.

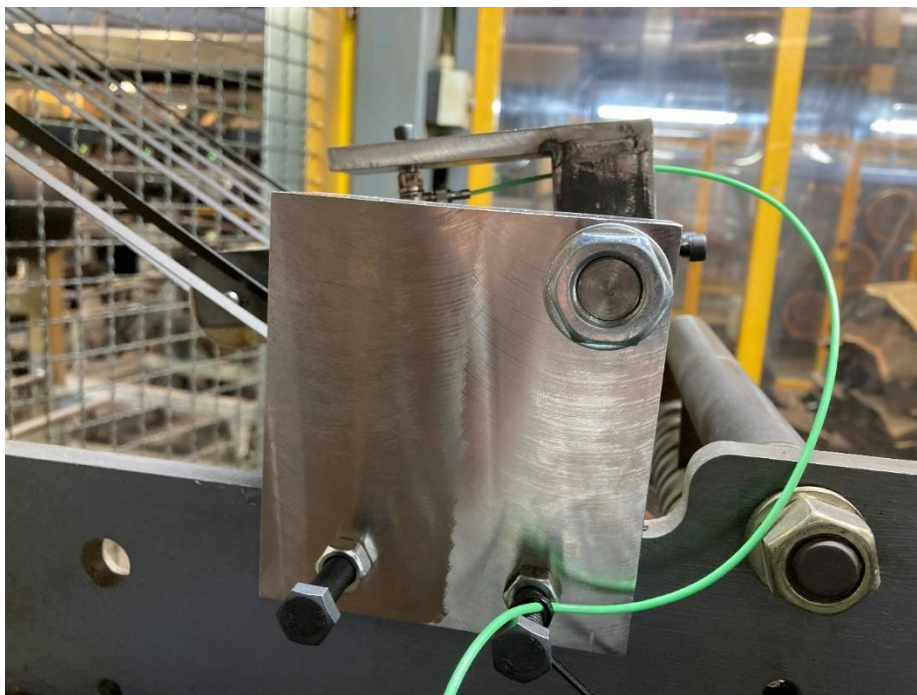


Figura 4.2.11 - Visão posterior do protótipo na cap-strip.

Devido a um atraso por parte da empresa responsável pela fabricação de alguns componentes, verificou-se a necessidade de proceder a ajustes no processo de produção. Para minimizar o impacto deste atraso e garantir a continuidade dos testes, tomou-se a decisão de encomendar as peças disponíveis antecipadamente.

No entanto, essa decisão resultou em algumas diferenças entre os componentes recebidos e os desenhos originais, principalmente em termos de furações. Para contornar estas discrepâncias e assegurar que os testes não fossem prejudicados, optou-se por realizar a soldagem de alguns dos componentes diretamente nas instalações da Continental.

Este ajuste no processo foi fundamental para evitar atrasos adicionais e permitir que os testes fossem conduzidos conforme o cronograma previsto.

Uma vez que foi produzido apenas um protótipo para a medição de uma única tira, são necessárias certas adaptações para realizar medições simultâneas em várias tiras. Para tal, é requerido a modificação do comprimento do braço. A Figura 4.2.12 ilustra a disposição de dois protótipos lado a lado. É essencial ajustar a inclinação do protótipo de menor comprimento de forma a garantir o alcance até à tira.

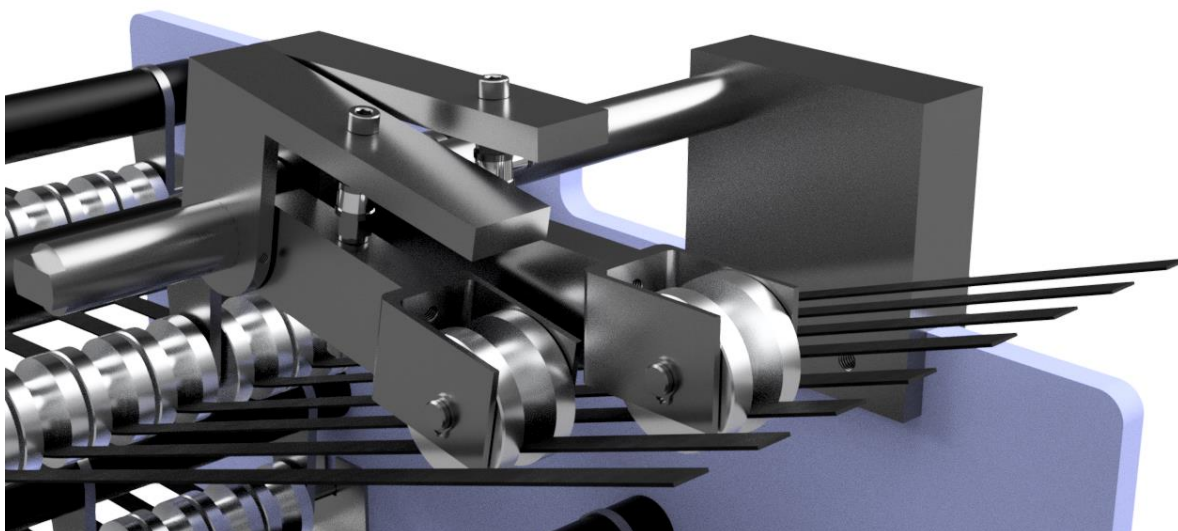


Figura 4.2.12 - Possível configuração de dois protótipos colocados lado a lado (Versão simplificada do protótipo).

4.2.4. TESTES

Após a montagem do equipamento na máquina, com a assistência de um engenheiro e de um técnico da máquina, procedeu-se à montagem do sistema elétrico, que permitiria a leitura dos valores medidos pela célula de carga num monitor.

Apesar da montagem ter sido relativamente simples e sem complicações, surgiram alguns problemas inesperados. Conforme mencionado na Tabela 4.3, diferentes intervalos de leitura podem ser obtidos, dependendo da configuração utilizada no pin out do amplificador e da carta – KL3002, Figura 4.2.13.

Na Figura 4.2.14, encontra-se o amplificador utilizado no processo de testagem. O *pinout* pode ser encontrado na parte inferior da etiqueta do amplificador. Para determinar quais cabos (de diferentes cores) conectar ao *pinout*, foi necessário fazer a leitura do valor de voltagem em cada pino e identificar a correspondência com a cor específica do cabo.



Figura 4.2.13 - Carta KL3002 utilizada na conexão ao PLC da cap-strip.



Figura 4.2.14 - Amplificador 5039A da empresa KISTLER.

Inicialmente, ao tentar obter uma leitura no intervalo de 0 a 0.03 kN, ocorreu um erro de leitura no equipamento, impossibilitando a obtenção de valores. Como solução temporária, foi necessário ajustar a configuração para o intervalo de leitura até 3000 N. Através desta configuração o monitor já apresentava um gráfico corresponde aos valores da tensão que estavam a ser medidos. Apesar disso, os valores apresentados eram pouco visíveis devido à escala inadequada para os valores de tensão tão baixos da tira de cap ply. Apesar de não ser possível registrar valores plausíveis, verificou-se que o equipamento estava funcional e capaz de medir a tensão, ao longo do processo de enrolamento da tira.

Para tentar obter resultados, a célula de carga foi montada num ambiente semelhante ao da máquina, mas numa sala de testes. Para verificar se a célula de carga estava a fazer a leitura corretamente, o protótipo era apertado através do fecho de uma mão. Os gráficos da Figura 4.2.15 e Figura 4.2.16 demonstram essa leitura para os dois intervalos de leitura mencionados anteriormente. Através dos altos e baixos, é perceptível quando o equipamento estava a sofrer pressão pelo fecho da mão. É importante ressaltar que esses gráficos servem apenas para ilustrar o funcionamento geral da célula de carga e não estão diretamente relacionados com a tensão na tira de cap ply.

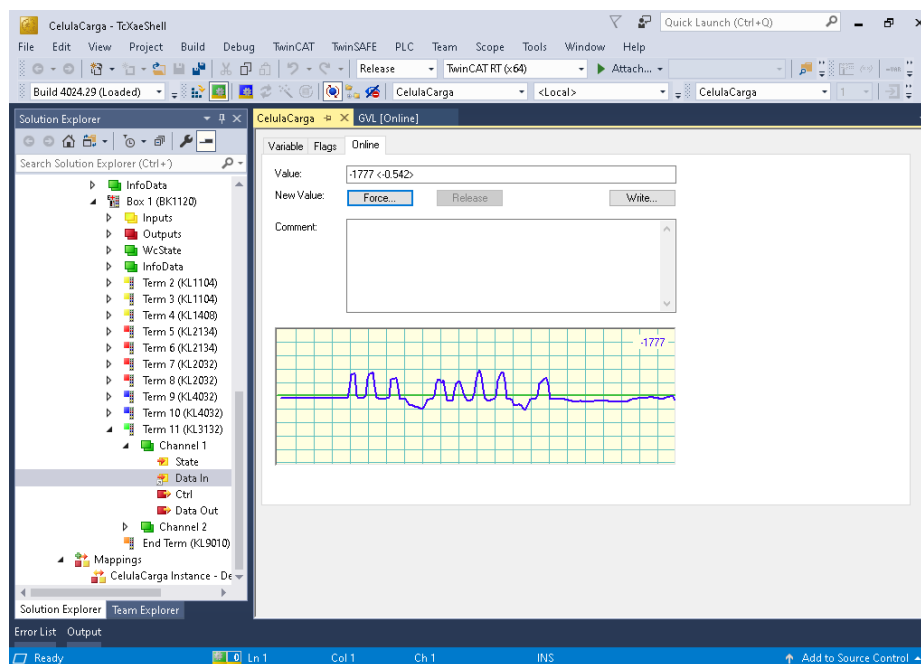


Figura 4.2.15 - Leitura de valores de tensão aleatórios realizados na sala de testes com o propósito de ver se a célula de carga e todo o sistema envolvente funcionava. Intervalo de leitura é de 0 – -3 kN.

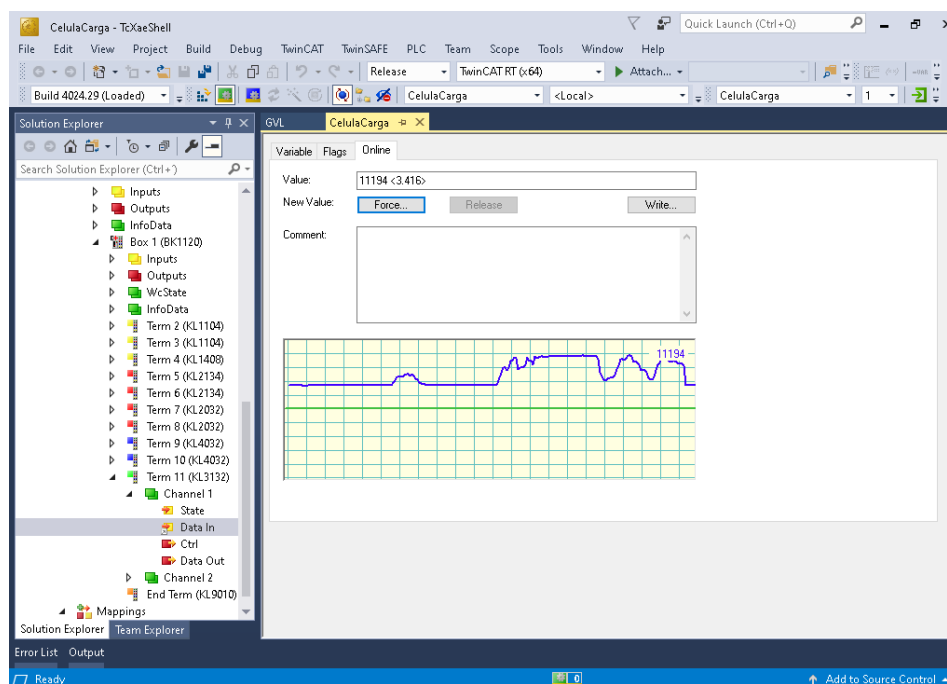


Figura 4.2.16 - Leitura de valores de tensão aleatórios realizados na sala de testes com o propósito de ver se a célula de carga e todo o sistema envolvente funcionava. Intervalo de leitura de 0 – 0.03 kN.

Infelizmente, devido a restrições contratuais, não é possível compartilhar fotografias do funcionamento da célula de carga na cap-strip, do monitor e do sistema elétrico. Apenas foi possível mostrar, como já mencionado anteriormente, o seu posicionamento na estrutura de fixação.

4.2.5. CUSTO DO EQUIPAMENTO

O custo do equipamento dependerá principalmente do custo da célula de carga e dos amplificadores, uma vez que são os componentes mais dispendiosos. Além disso, devemos considerar o custo de produção de cada componente do protótipo e de outros elementos elétricos. Dado que o custo de produção dos componentes não foi divulgado, iremos apenas considerar o custo do equipamento proveniente da empresa KISTLER.

Para a Continental Mabor, uma célula de carga tem um custo de 2600 euros e um amplificador custa 1200 euros. Assim, uma vez que serão necessários 16 protótipos para os 16 rolos da máquina, o custo total deste equipamento deverá rondar os 60 800 euros. Este valor consta para uma só Cap-strip. Sendo que plano é controlar a tensão em cada máquina, terá de se multiplicar este valor pelo número total de Cap-strips na fábrica. Multiplicando os 60 800 por 3 (número de máquinas), acabamos com um orçamento de 182 400 euros para a implementação total deste projeto.

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

O presente estudo, conduzido na Continental Mabor, aprofundou o entendimento do processo de fabrico das tiras de cap ply, com especial enfoque na análise do impacto da tensão de enrolamento na qualidade de produção. A qualidade está relacionada com as propriedades da aderência da tira e na qualidade do enrolamento do rolo, pois estes fatores são importantes nas etapas posteriores de produção onde é implementada a tira no pneu. Ao longo da pesquisa, compreendeu-se o papel da tensão, explorou-se oportunidades de otimização do processo, visando o aprimoramento da qualidade e a redução de desperdícios de material e tempo.

Uma das vertentes investigadas foi a influência de fatores externos, em especial a temperatura, na qualidade de aderência e enrolamento das tiras. Comprovou-se que a qualidade dos rolos de cap ply está maioritariamente dependente da tensão de enrolamento. Os resultados obtidos demonstraram que a temperatura não tem um impacto significativo, pois é aproximadamente constante ao longo do enrolamento. Isto permitiu direcionar o foco do estudo exclusivamente para a tensão de enrolamento, e a busca de soluções para medir e controlar a mesma.

Durante o processo de investigação, foram propostas diferentes soluções para a medição e controlo da tensão. A primeira solução enfrentou desafios relacionados com a estrutura e estabilidade do equipamento de medição, revelando-se que precisava de muito amadurecimento para as condições do projeto. Ademais o local escolhido para a implementação do mesmo, acabou por ser considerado de difícil implementação, por ser uma região de baixas tensões da tira. Como resposta a esta questão, desenvolveu-se uma segunda solução, que procurou corrigir as falhas identificadas na primeira tentativa e implementar novas ideias. Esta nova abordagem aplicada noutra local do equipamento resultou na possibilidade de utilização de uma estrutura mais robusta e ergonómica, aproveitando-se de componentes já existentes na fábrica, como a célula de carga.

Embora a segunda solução tenha demonstrado potencial para ser integrada no processo produtivo, algumas limitações foram identificadas, particularmente relacionadas com a componente elétrica. Estas limitações impediram a obtenção de valores precisos de tensão de enrolamento. Contudo, foi possível observar que o protótipo desenvolvido é capaz de detetar variações da tensão durante os testes, na sala de testagem, cumprindo assim o objetivo principal da dissertação.

Adicionalmente, devido às dificuldades encontradas na componente elétrica e também no término do estágio na empresa, não foi viável implementar o controlo da tensão em conjunto com o sistema de travagem já existente na máquina. Apesar destas limitações, a conceção para o controlo da tensão seria simples, baseando-se na transmissão dos dados registados pelo computador para o sistema de travagem, permitindo ajustes em tempo real. Esta solução tem um custo elevado devido ao preço do sensor e do seu controlador pelo que deverá ser avaliado por um estudo económico antes da sua aplicação.

Em suma, o estudo realizado contribuiu significativamente para o avanço do conhecimento no processo de fabrico das tiras de cap ply, fornecendo insights valiosos para futuras melhorias. A solução final proposta representa um passo importante na direção da otimização do processo produtivo, promovendo a qualidade e a eficiência dos processos de fabrico na Continental Mabor.

Na Tabela 5.1, estão listados os objetivos previamente delineados, juntamente com a avaliação do progresso em relação a cada um deles.

Tabela 5.1 - Balanço dos objetivos do projeto inicialmente propostos.

Objetivos	Estado
Entender o processo de fabrico das tiras de cap ply e o funcionamento da cap-strip, desde a extrusão até ao enrolamento.	Concluído
Investigar a possível falta de atenção em relação a outras variáveis, como temperaturas e outros fatores, que podem não estar a ser considerados.	Concluído
Avaliar os danos causados pelas falhas nas tiras nos processos subsequentes de fabrico de pneus e as perdas associadas para a empresa.	Concluído
Identificar áreas e métodos para automatizar o processo e desenvolver um método de controlo da tensão durante o enrolamento.	Concluído

Tabela 5.1 - Balanço dos objetivos do projeto inicialmente propostos. (Continuação)

Objetivos	Estado
Realizar experiências, como ensaios laboratoriais ou na máquina, para testar várias hipóteses e soluções que permitam medir a tensão de enrolamento e transmitir os dados para um computador, a fim de controlar a tensão em caso de variações durante o processo.	Concluído
Implementação do controlo da tensão de enrolamento utilizando o sistema de travagem já presente na cap-strip.	Não concluído

5.2. PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, é recomendada a correção dos erros na parte elétrica e a implementação do controlo da tensão através do sistema de travagem. Além disso, considerando o potencial observado no protótipo, sugere-se a otimização do mesmo, tanto em termos geométricos como em relação à sua funcionalidade e tempo de produção. Poderá ser realizado um ajuste para a integração de outros tipos de equipamento semelhantes à célula de carga utilizada, os quais poderiam ser economicamente mais vantajosos e de implementação mais simples.

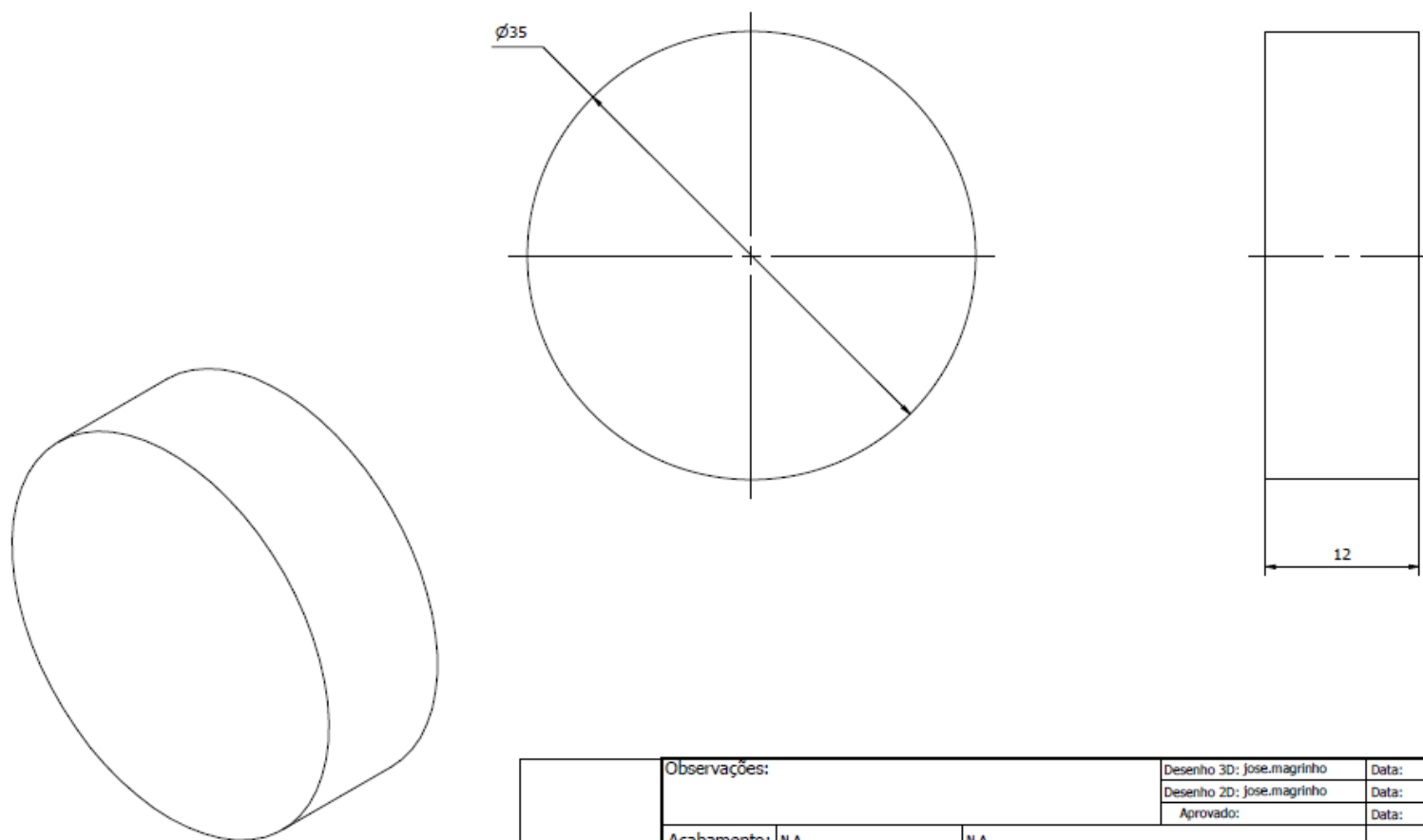
A primeira proposta de solução devia ser ainda melhor explorada pois apresenta um custo muito inferior. O protótipo realizado apresenta alguns aspetos a melhorar como por exemplo: Substituição de alguns componentes por materiais poliméricos de muito menor densidade; Incluir rolantes para diminuir o atrito nas partes móveis; Introduzir um processo de controlo de peso que anula o peso próprio do sistema. O aprimoramento deste sistema poderia reduzir o custo do sistema em 90% aproximadamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

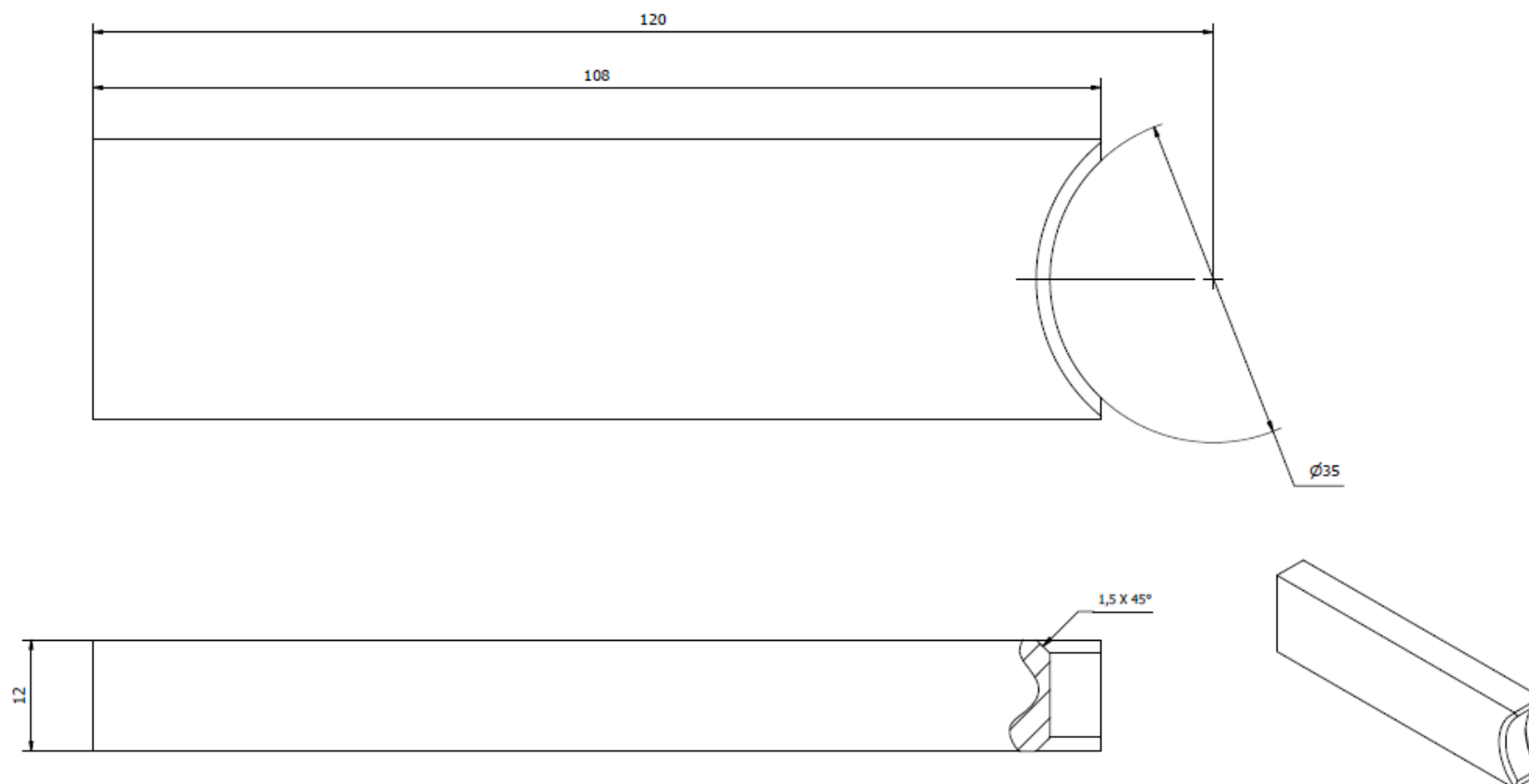
- [1] Dr. H. K. Brewer and P. S. K. Clark, *The Pneumatic Tire*. 2006.
- [2] RecStuff, “Radial vs. Bias Ply Trailer Tires: Making the Right Choice,” <https://recstuff.com/trailer-parts-blog/radial-vs-bias-ply-trailer-tires-making-the-right-choice/>.
- [3] Ashis Paul, “Radial Versus Bias Ply Tires,” <https://tirehubz.com/radial-versus-bias-ply-tires/>.
- [4] Dr. H. K. Brewer and P. S. K. Clark, “The Pneumatic Tire,” pp. 6–10, 2006.
- [5] C. Diogo and M. Costa, “INFLUÊNCIA DA TENSÃO NA CORDA NA PRODUÇÃO DE CAP PLY E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO,” 2018.
- [6] Bridgestone, “Bridgestone - Manufacturing Process,” <https://www.bridgestone.com/products/aircraft/products/process/>.
- [7] Continental Mabor, “Continental - Produção de pneus,” <https://www.continental-tires.com/pt/pt/b2c/tire-knowledge/tire-production/>.
- [8] H. Su and X. Zhang, “On the Mechanical Analysis and Control for the Tension System of the Cylindrical Filament Winding,” *Journal of Textile Science and Technology*, vol. 02, no. 02, pp. 7–15, 2016, doi: 10.4236/jtst.2016.22002.
- [9] Fluke, “Implementar um programa de manutenção de termografia por infravermelhos.”
- [10] Continental Mabor, “Continental Mabor - Quem Somos,” <https://www.continentalmabor.pt/>.
- [11] STEELASTIC, “Extruded Textile Cap Strip System.”
- [12] ABB, “Winder Physics,” *ABB*, 2022.
- [13] Dover Flexo Eletronics, “INSTRUCTION MANUAL Model LT Low Tension Transducer.” www.dfe.com
- [14] OHMITE, “FSR Series Force Sensing Resistor.”
- [15] Leanstar, “ λ Pressure-sensitive Characteristic Reference Circuit Pressure-sensitive Graph.”
- [16] Eletronic Tutoriais, “Wheatstone Bridge,” <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>.
- [17] K. Group, “Piezoelectric Load Cells for measuring dynamic and quasistatic tensile and compression forces,” 2021. www.kistler.com

7. ANEXOS

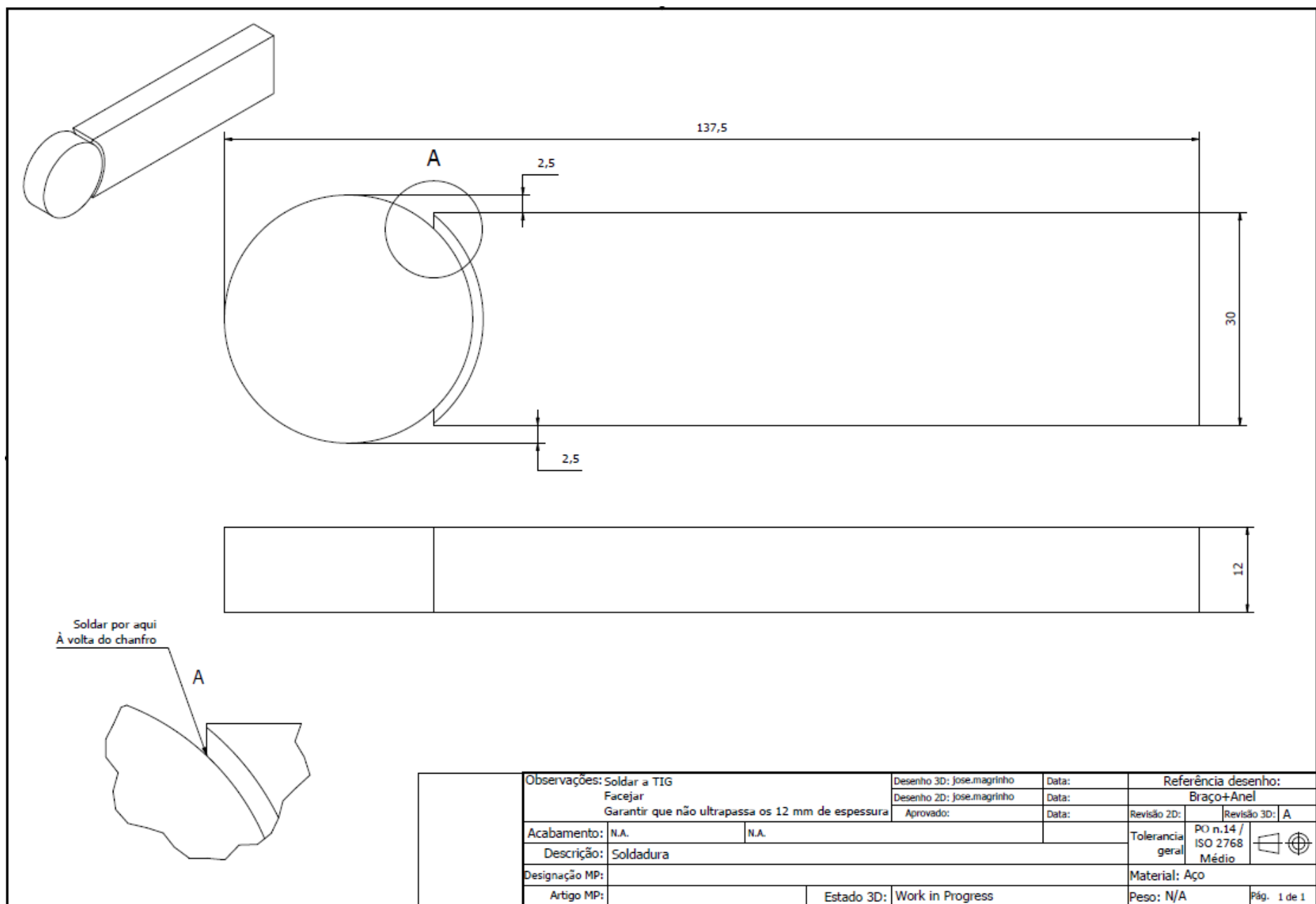
ANEXO A: DESENHOS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO 2 DA TENSÃO NA CAP-STRIP

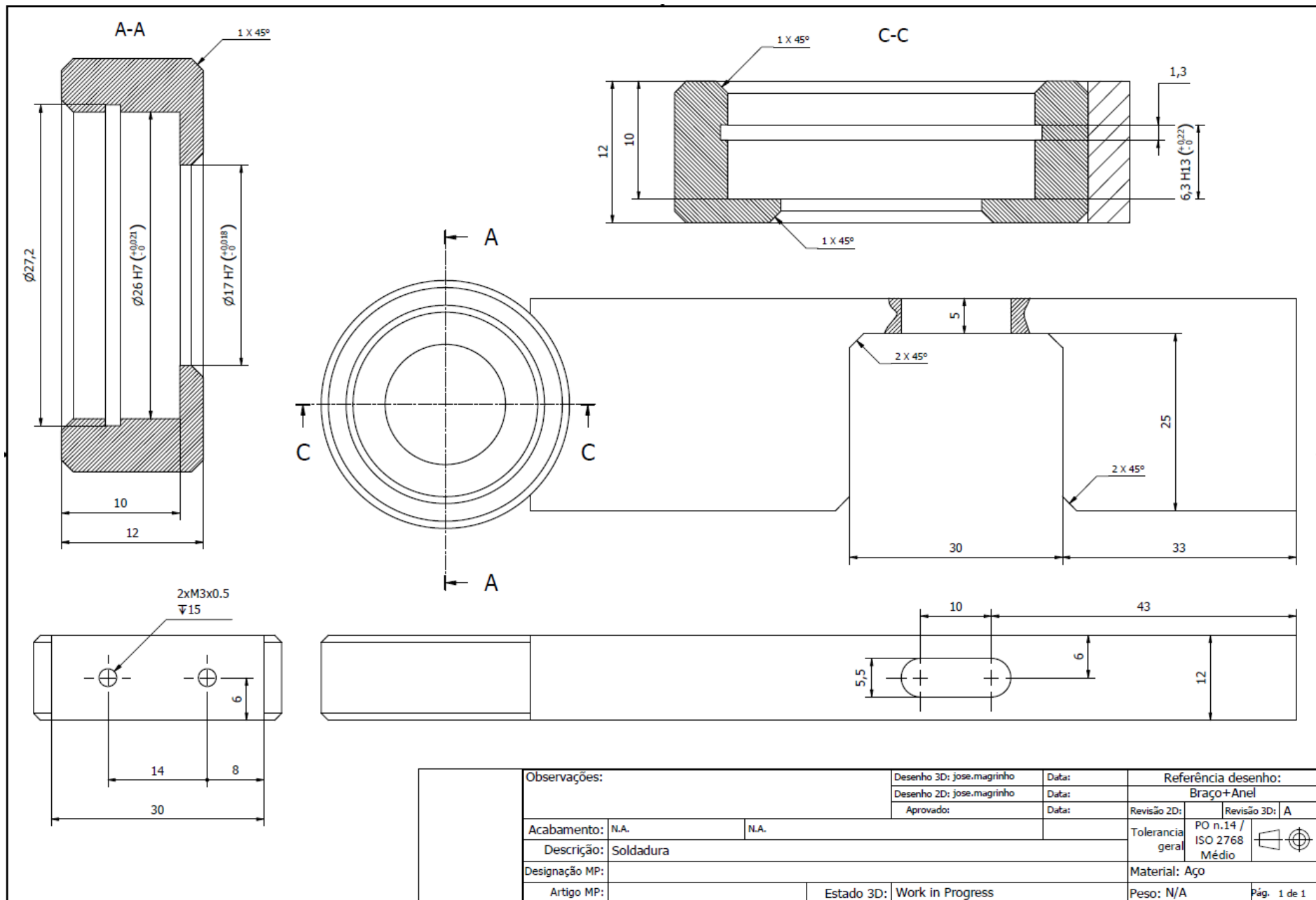


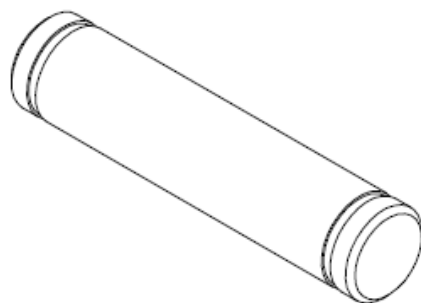
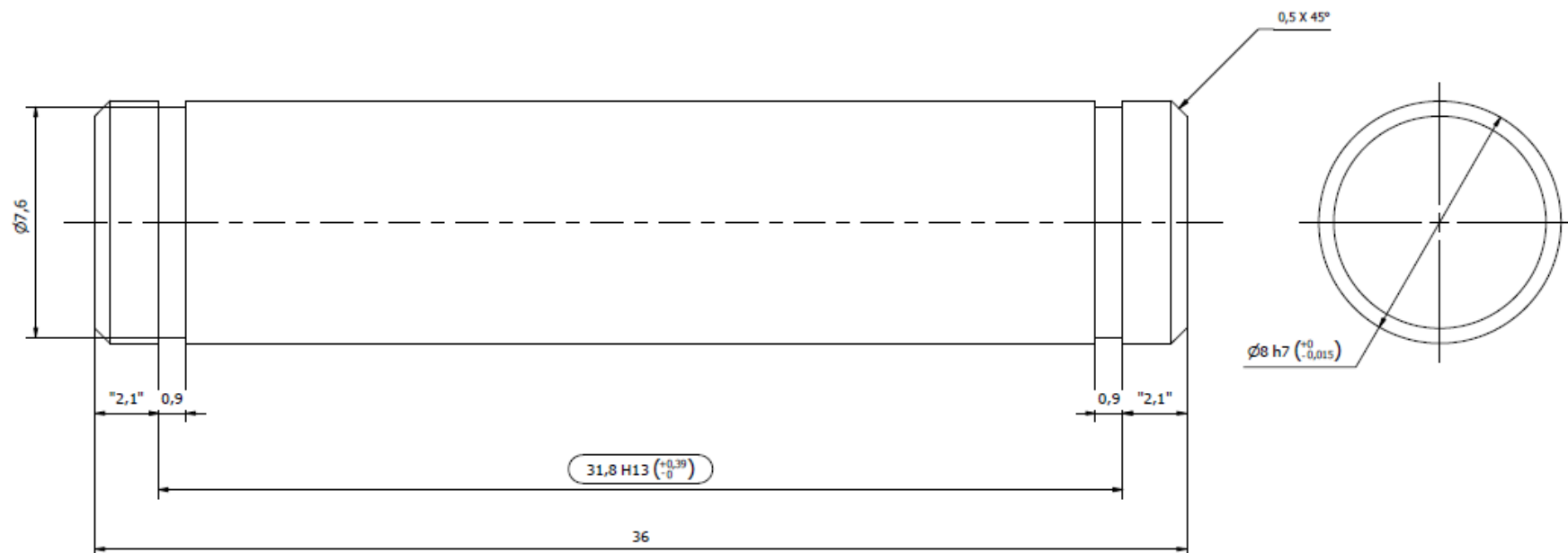
	Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:			
				Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Anel			
				Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:	A	
	Acabamento:	N.A.	N.A.				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
	Descrição:	VARAO ACO ST37-2K RD 35 3M					Material: Ferro		
Designação MP:	VARAO ACO ST37-2K RD 35 3M								
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress		Peso: 0,044 kg		Pág. 1 de 1	



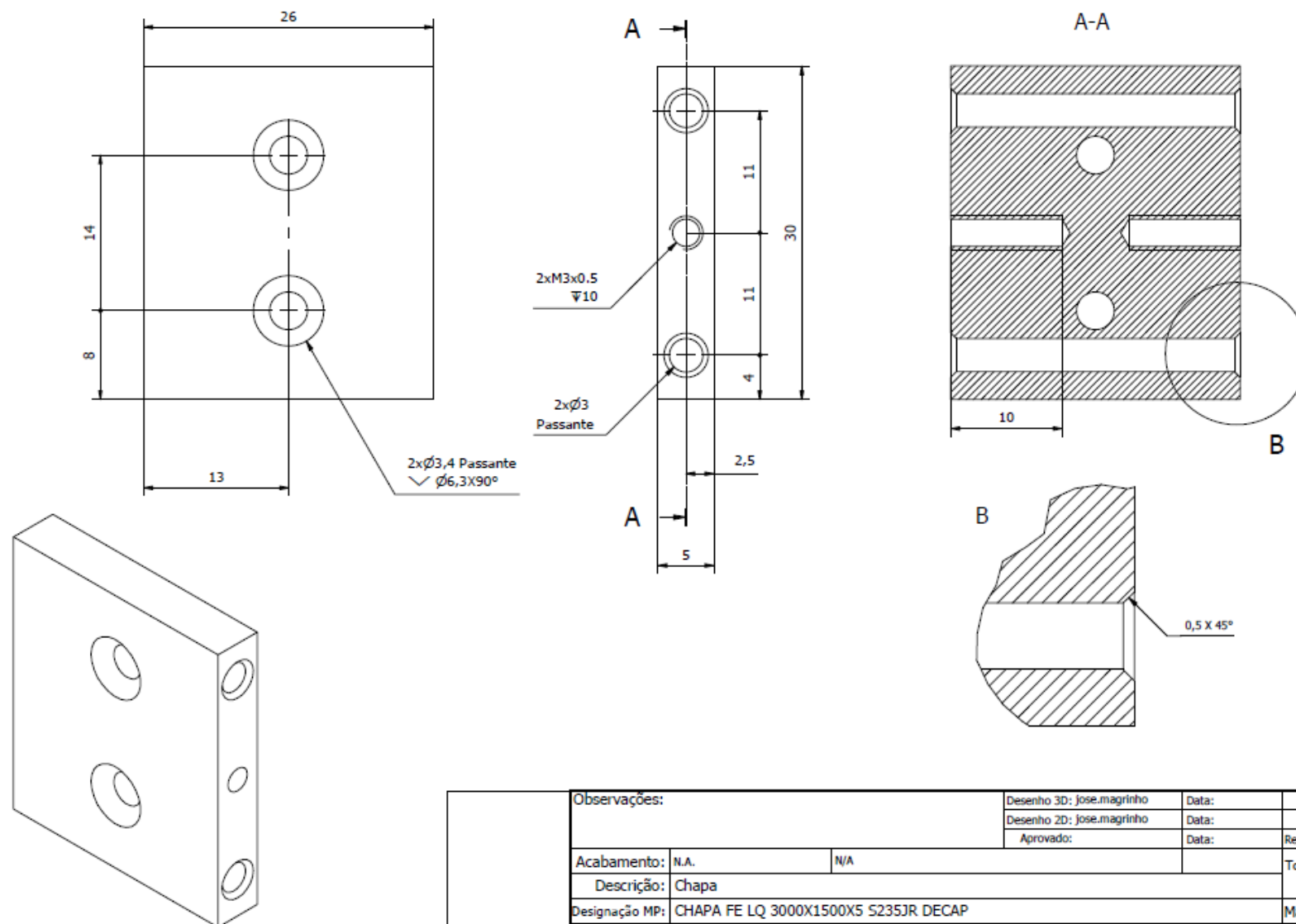
		Observações:		Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:	
				Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Braço	
				Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:
Acabamento:	N.A.	N/A				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio
Descrição:	Chapa					Material: Ferro	
Designação MP:	CHAPA FE LQ 3000X1500X12 5235JR DECAP					Material: Ferro	
Artigo MP:	1000111		Estado 3D:	Work in Progress		Peso: N/A	Pág. 1 de 1



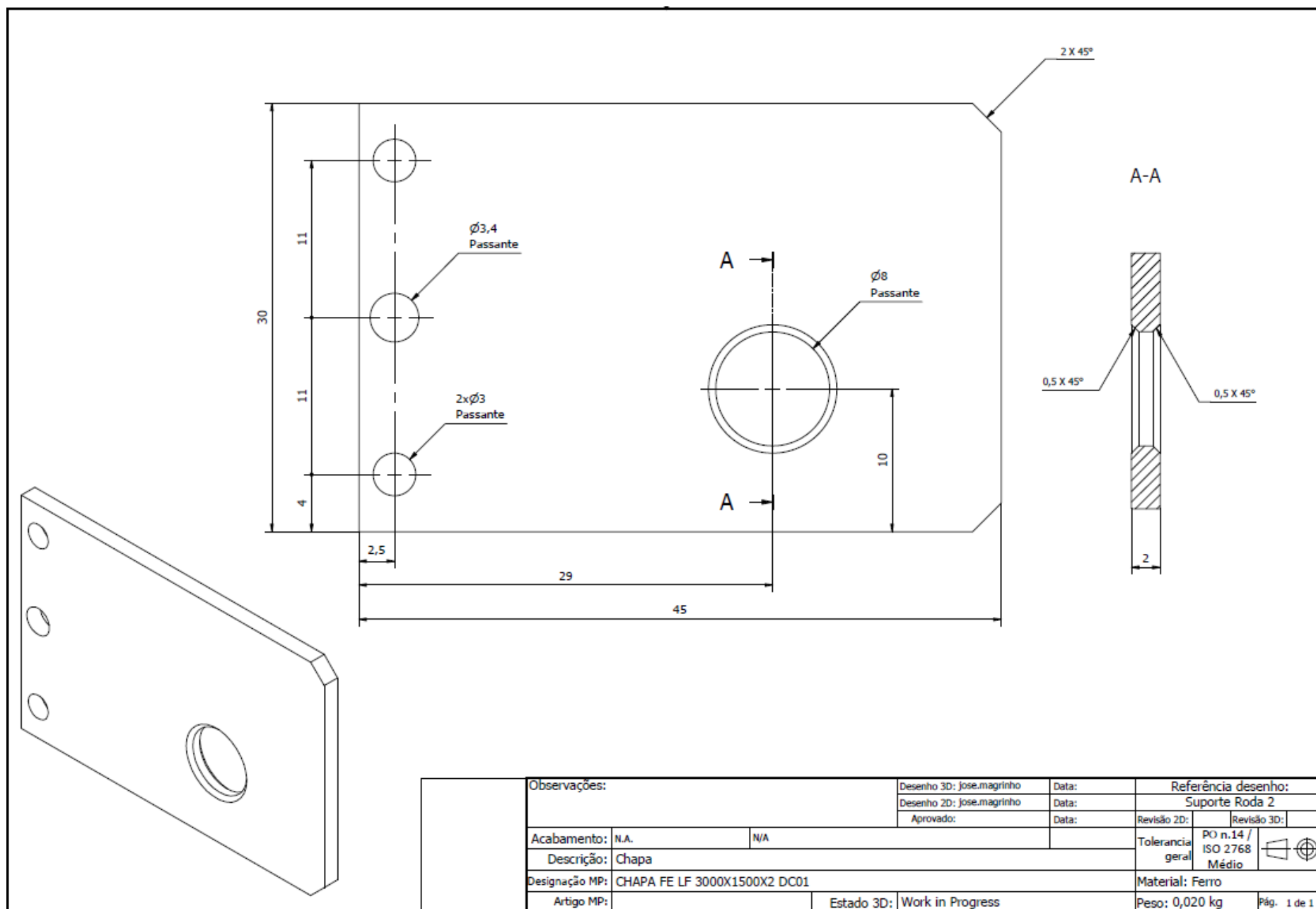


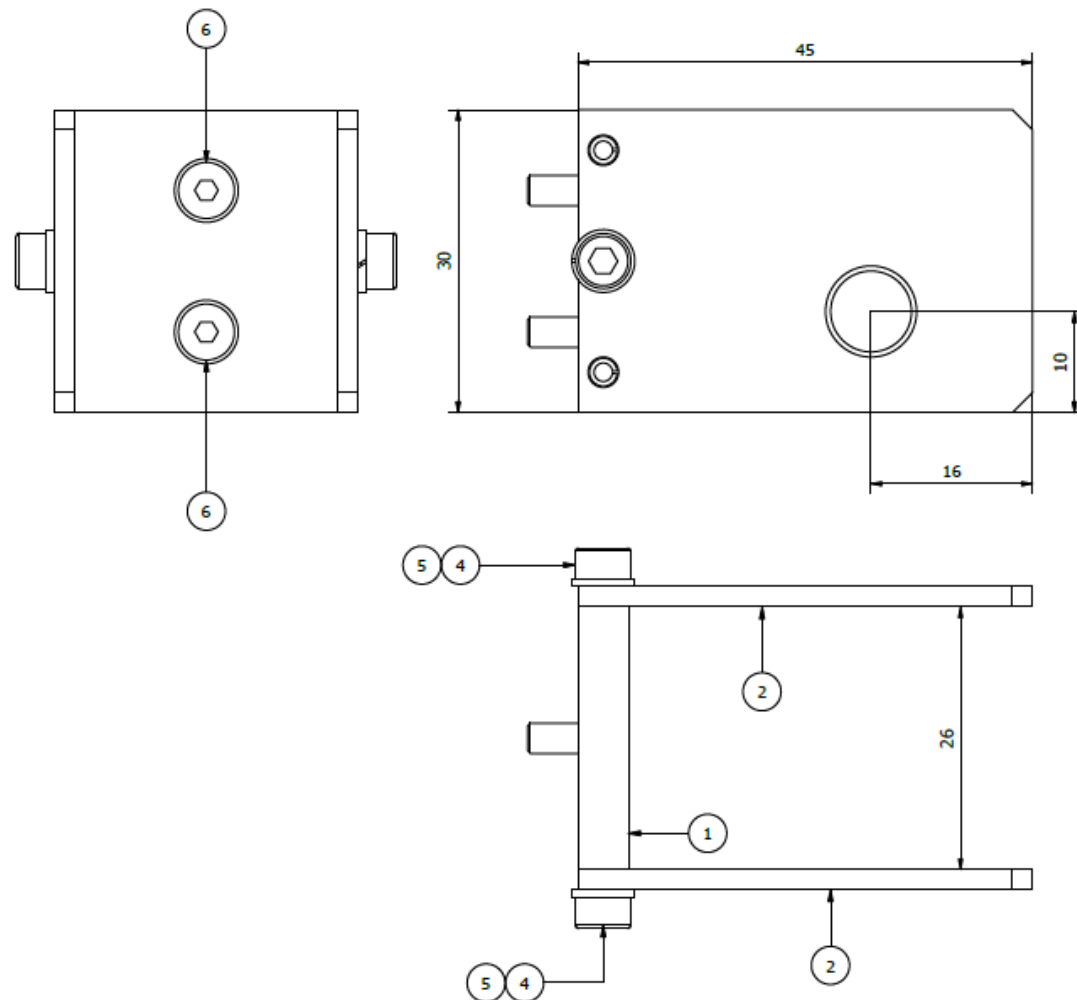


Observações:		Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:		
		Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Pino		
		Aprovado:	Data:	Revisão 2D:		Revisão 3D:
Acabamento:	N.A.			Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
Descrição:	Varão Redondo					
Designação MP:	VARAO ACO ST37-2K RD 8 3M			Material: Aço		
Artigo MP:		Estado 3D:		Peso: 0,014 kg	Pág. 1 de 1	

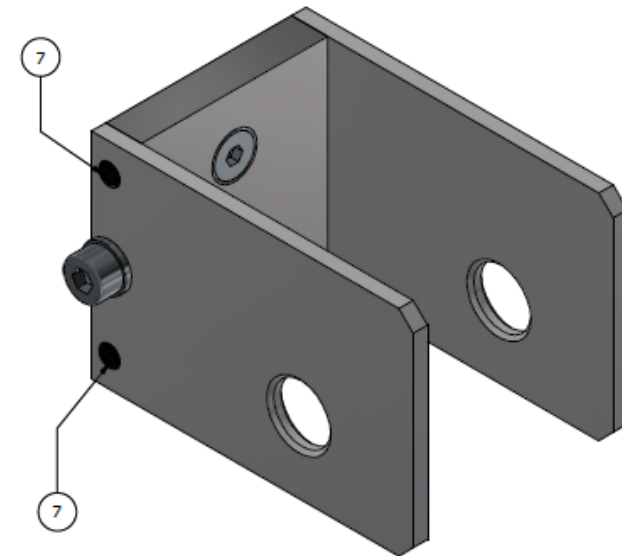


Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:			
			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Suporte Roda 1			
			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:		
Acabamento:	N.A.	N/A				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
Descrição:	Chapa							
Designação MP:	CHAPA FE LQ 3000X1500X5 S235JR DECAP							
Artigo MP:		Estado 3D:	Work in Progress			Peso: 0,026 kg	Pág. 1 de 1	

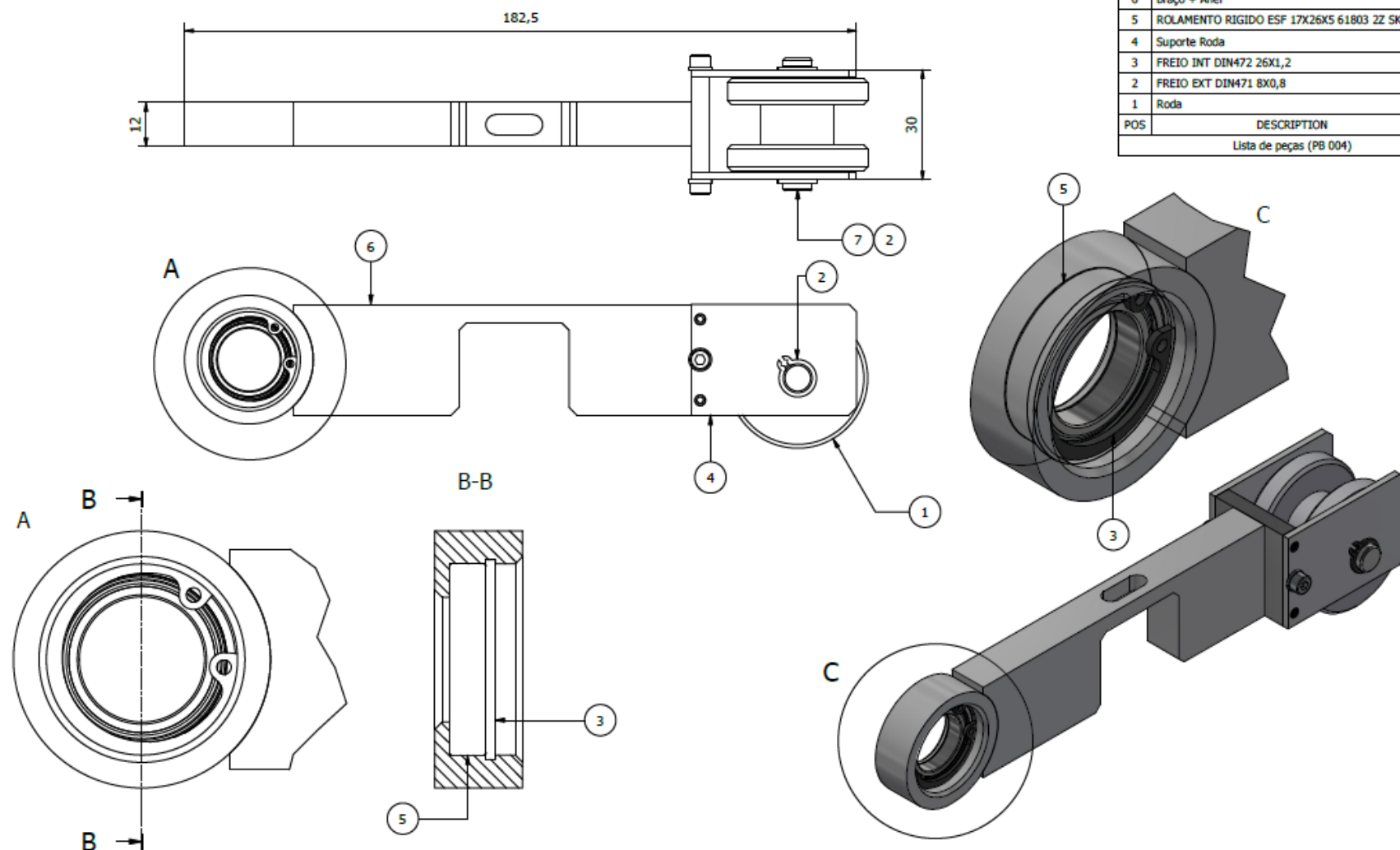




7	CAVILHA ELASTICA ISO8752 3X30 PT	2
6	PARAF EMB ISO10642 M3X10 10.9 ZN	2
5	ANILHA MOLA DIN127 M3 ZN	2
4	PARAF CIL DIN912 M3X6 8.8 ZN	2
2	Suporte Roda 2	2
1	Suporte Roda 1	1
POS	DESCRIPTION	QT
Lista de peças (PB 004)		

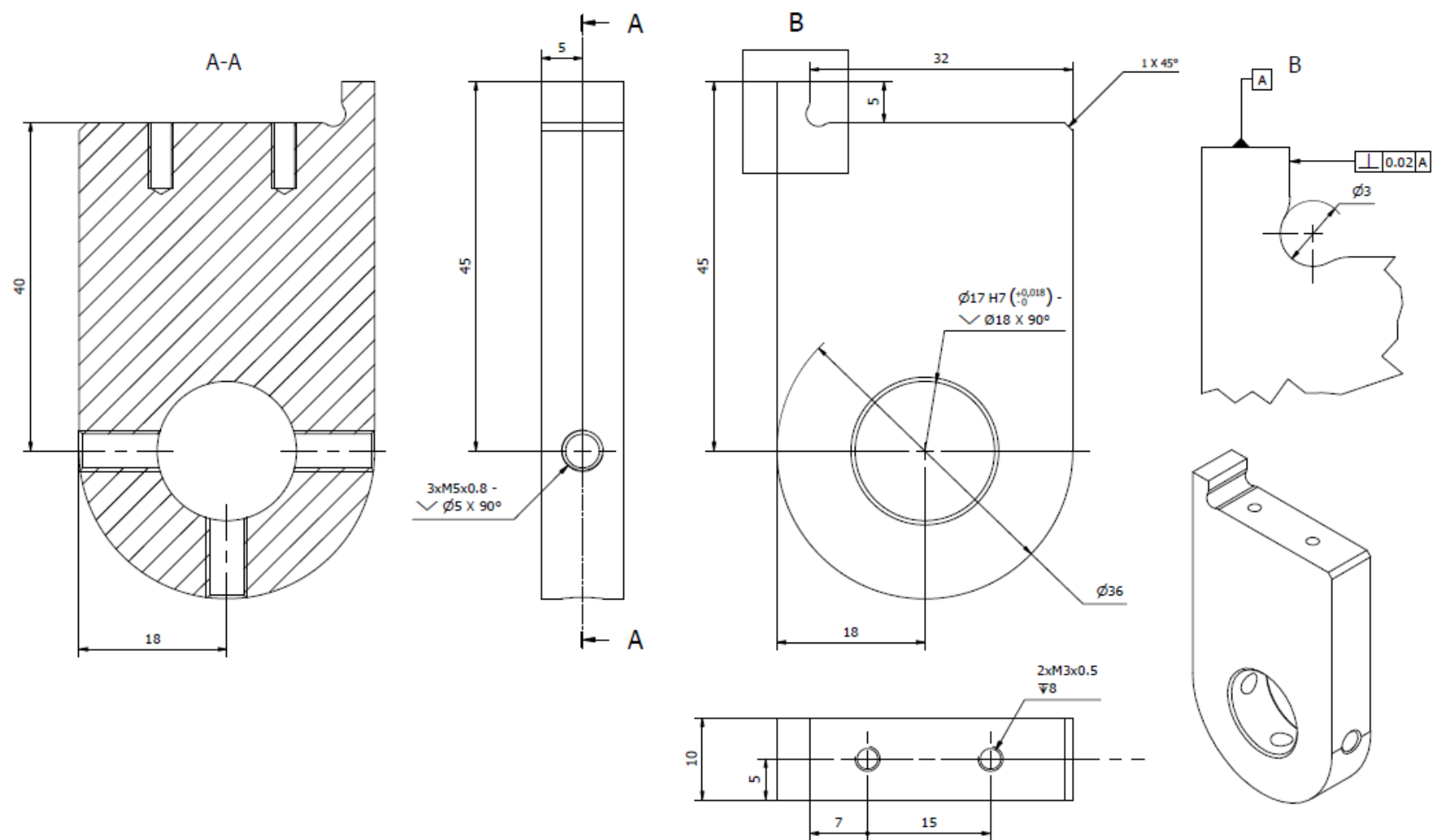


Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:	
			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Suporte Roda	
Acabamento: N.A.			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D: A
Descrição: Montagem					Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio
Designação MP:					Material:	
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress	Peso: 0.069 kg	Pág. 1 de 1

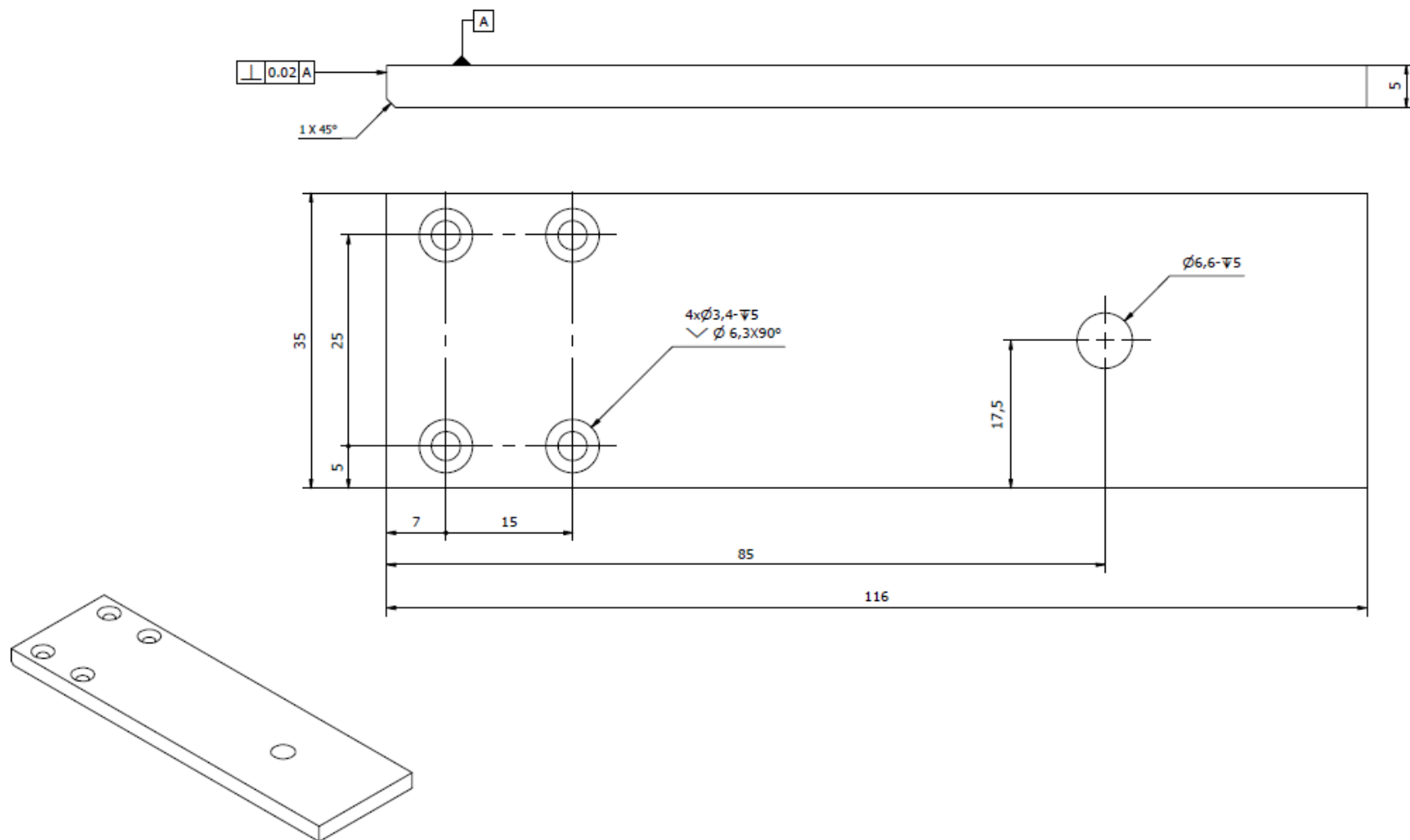


7	Pino	1
6	Braço + Anel	1
5	ROLAMENTO RIGIDO ESF 17X26X5 61803 2Z SKF	1
4	Suporte Roda	1
3	FREIO INT DIN472 26X1,2	1
2	FREIO EXT DIN471 8X0,8	2
1	Roda	1
POS	DESCRIPTION	QT
Lista de peças (PB 004)		

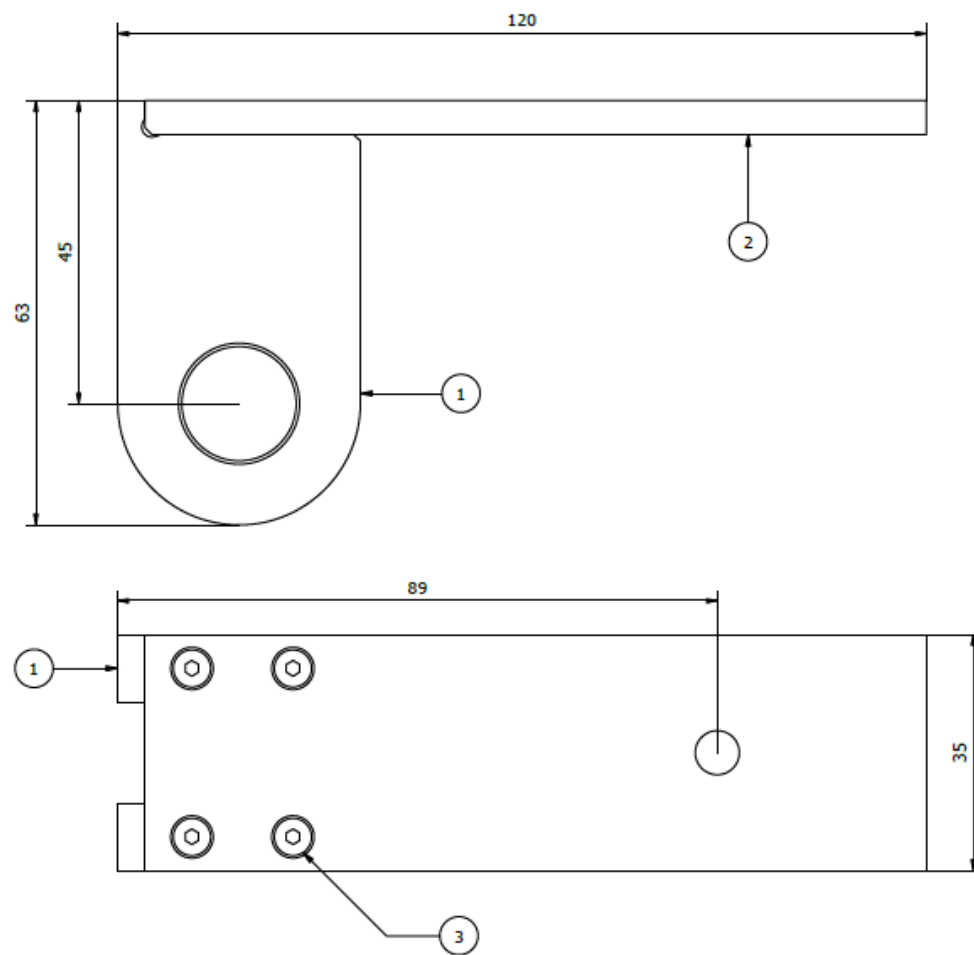
Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:		
			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Suporte Inferior		
			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:	A
Acabamento:	N.A.	N.A.			Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
Descrição:			Montagem				
Designação MP:					Material:		
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress		Peso: 0,377 kg	Pág. 1 de 1



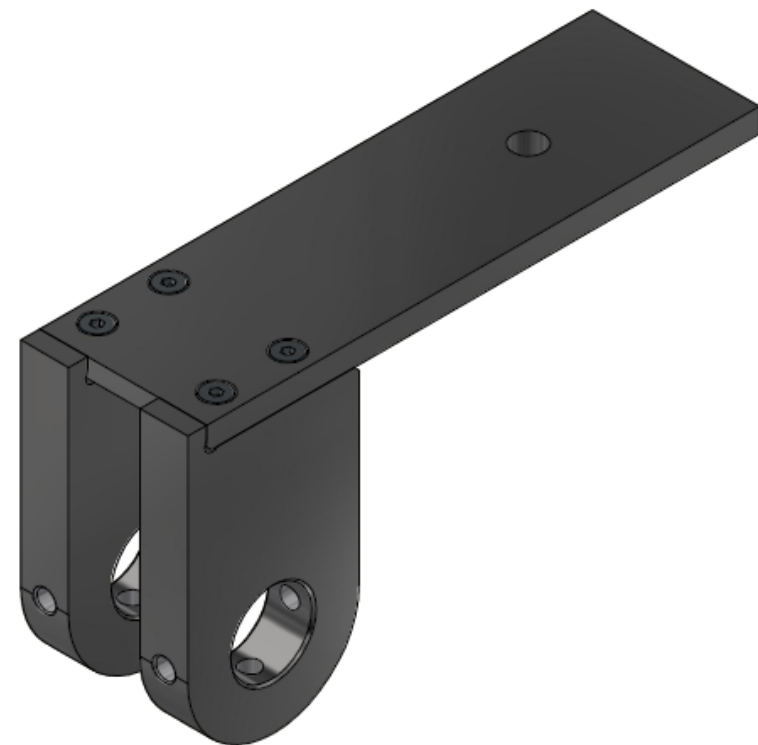
Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:			
			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Suporte CC 1			
			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:		
Acabamento:	N.A.	N/A				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
Descrição:	Chapa							
Designação MP:	CHAPA FE LQ 3000X1500X10 S235JR DECAP							
Artigo MP:		Estado 3D:	Work in Progress			Peso: 0.133 kg	Pág. 1 de 1	



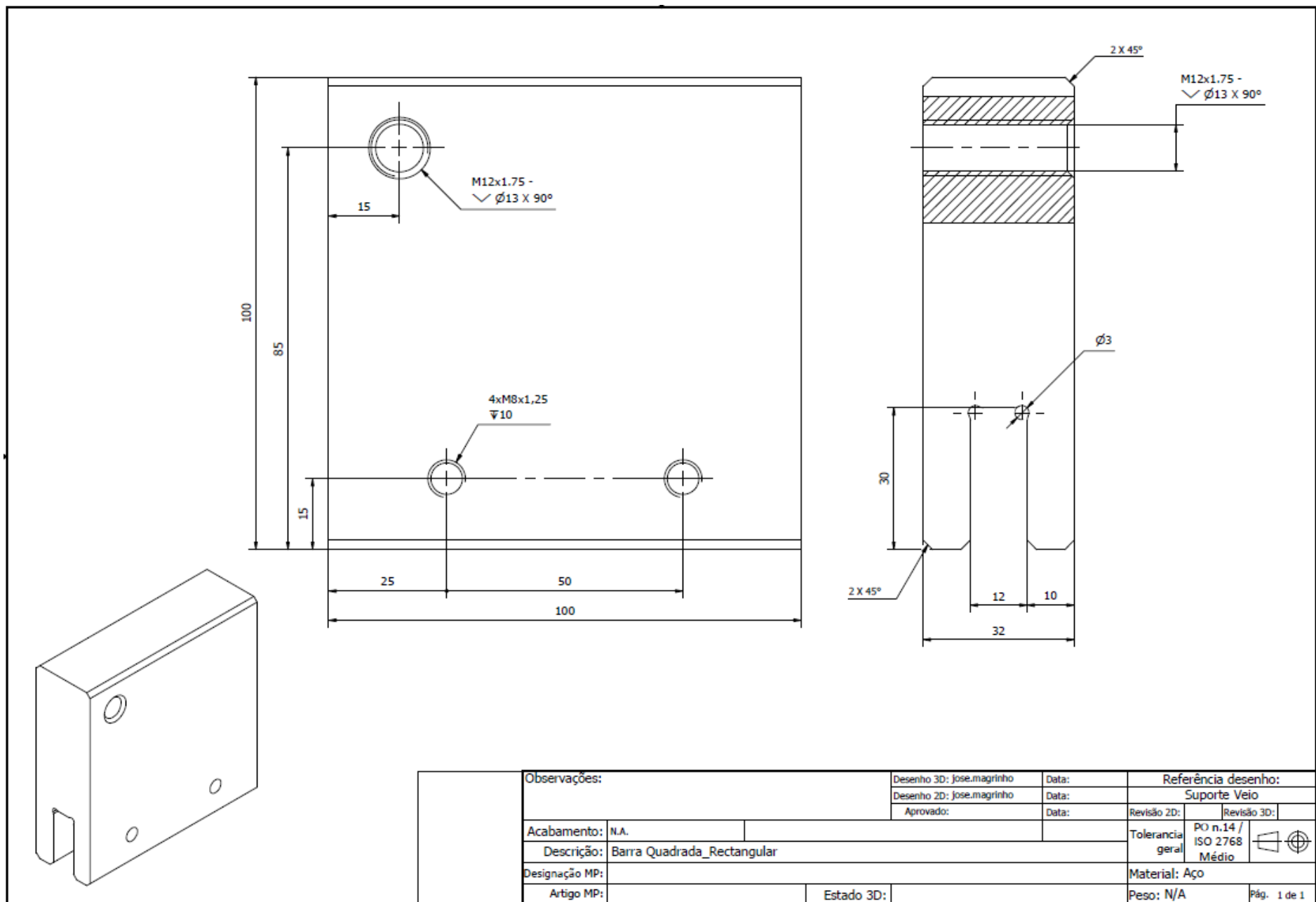
Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho		Data:		Referência desenho:								
			Desenho 2D: Jose.magrinho		Data:		Suporte CC 2								
			Aprovado:		Data:		Revisão 2D:		Revisão 3D:						
Acabamento:		N.A.		N/A				Tolerancia geral		PO n.14 / ISO 2768					
Descrição:		Chapa										Médio			
Designação MP:		CHAPA FE LQ 3000X1500X5 S235JR DECAP								Material: Ferro					
Artigo MP:					Estado 3D:		Work in Progress			Peso: 0.156 kg		Pág. 1 de 1			



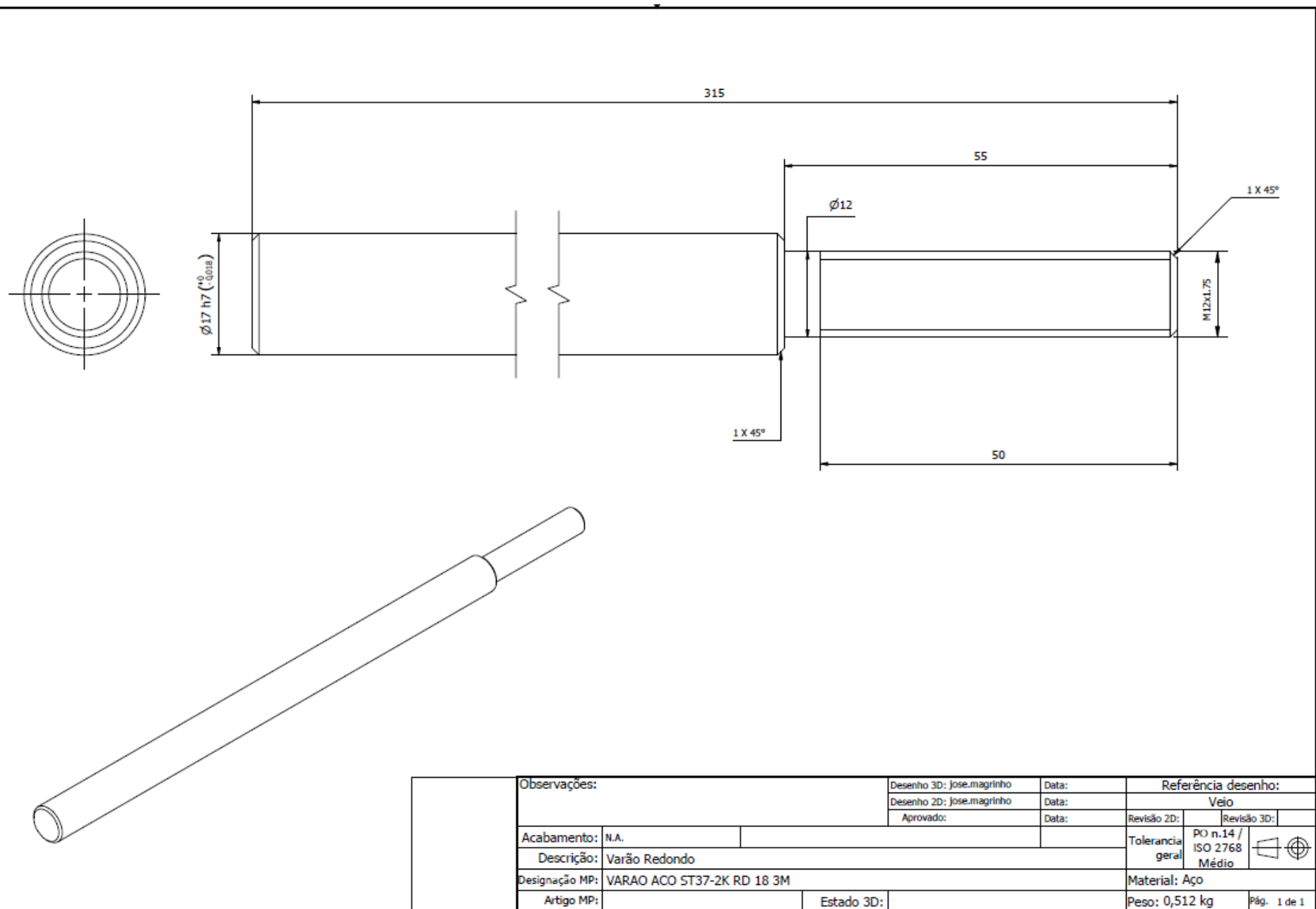
3	PARAF EMB ISO10642 M3X10 10.9 ZN	4
2	Suporte CC 2	1
1	Suporte CC 1	2
POS	DESCRIPTION	QT
Lista de peças (PB 004)		

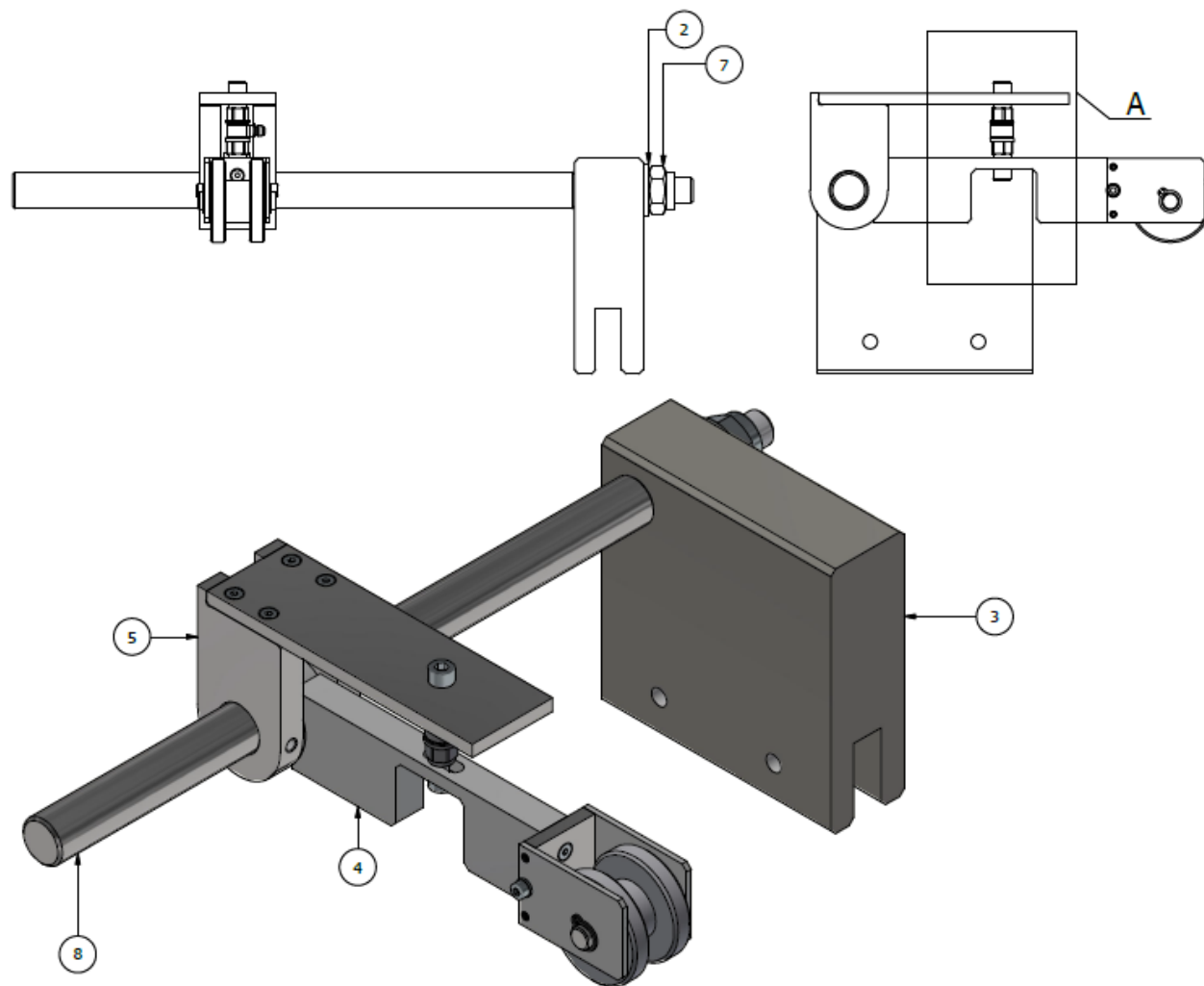


Observações:		Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:	
		Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Suporte CC	
Acabamento: N.A.		Aprovado:		Revisão 2D:	Revisão 3D: A
Descrição: Montagem				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio
Designação MP:				Material:	
Artigo MP:		Estado 3D: Work in Progress		Peso: 0,425 kg	Pág. 1 de 1



Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:			
			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Suporte Veio			
			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:		Revisão 3D:	
Acabamento:	N.A.					Tolerância geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
Descrição:		Barra Quadrada_Rectangular						
Designação MP:						Material: Aço		
Artigo MP:			Estado 3D:			Peso: N/A	Pág. 1 de 1	



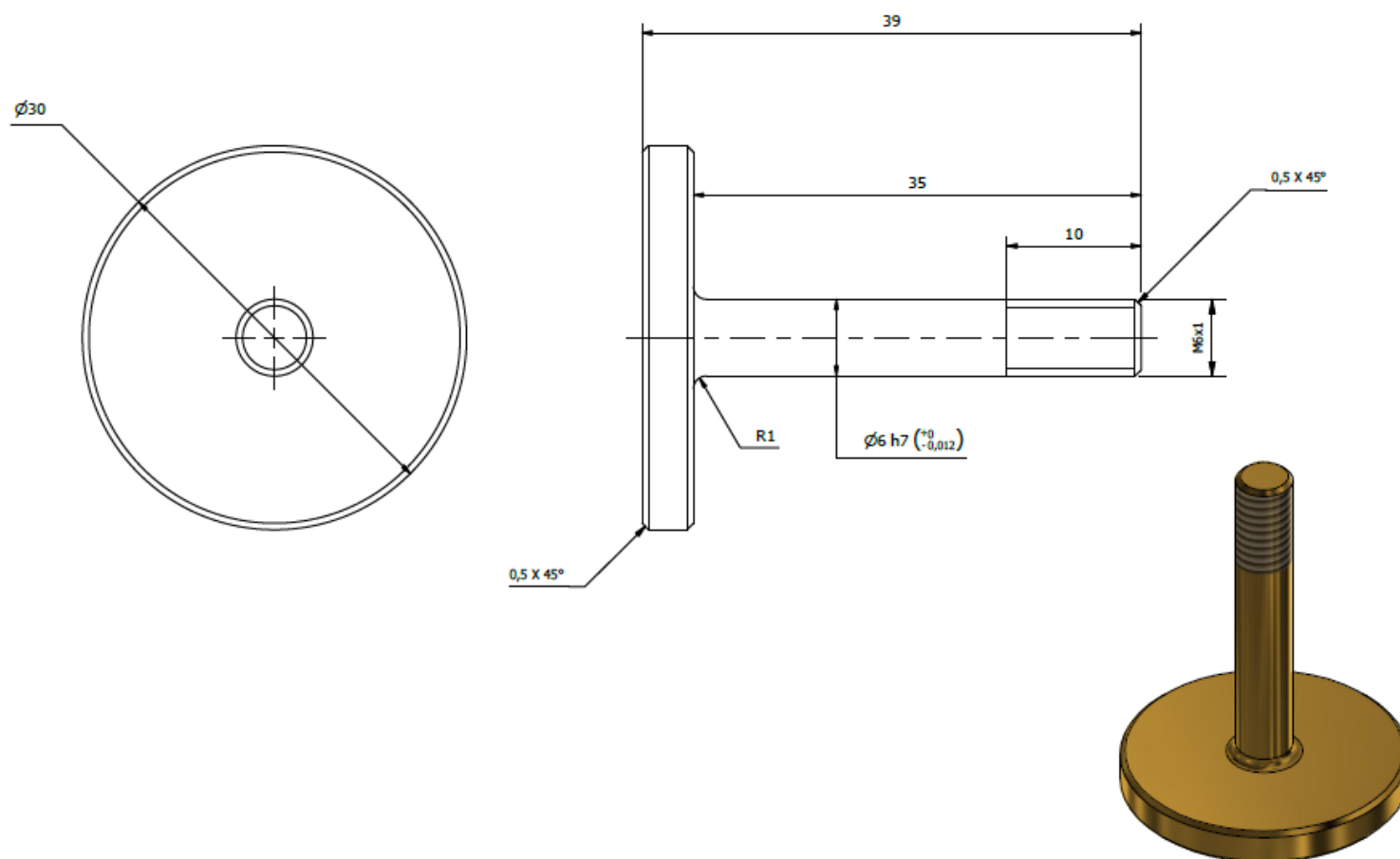


8	Varão Redondo	1
7	PORCA SEXT AUTOBLOC DIN985 M12 8 ZN	1
6	PARAF CIL DIN912 MSX10 8.8 ZN	2
5	Montagem	1
4	Montagem	1
3	Barra Quadrada_Rectangular	1
2	ANILHA PLANA DIN125A M12 ZN	1
1	9301C...9371C-ForcLine Kraftmesselement	1
POS	DESCRIPTION	QT
Lista de peças (PB 004)		

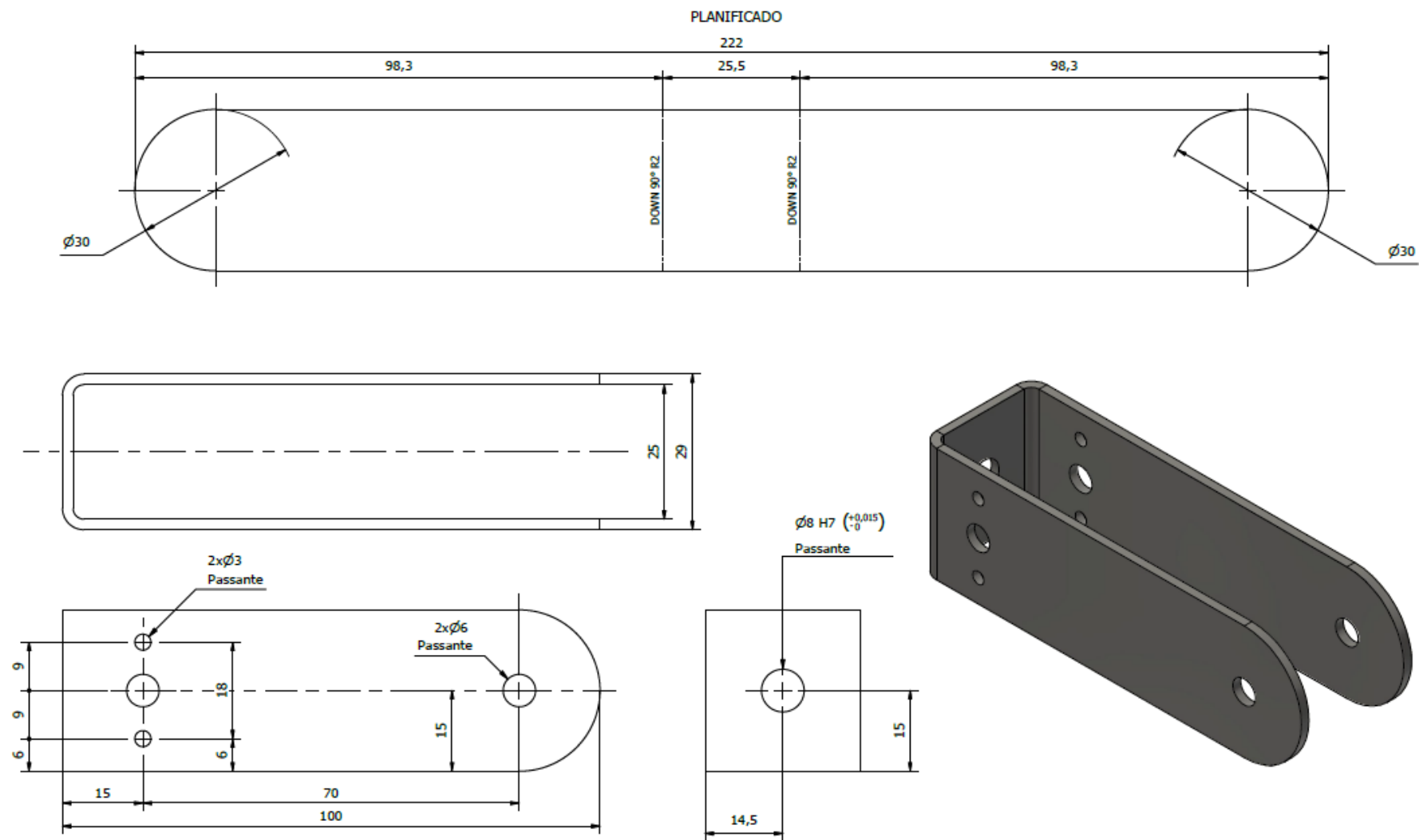
Observações:

			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Protótipo			
			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D: A		
Acabamento:	N.A.	N.A.				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
Descrição:	Montagem							
Designação MP:						Material:		
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress		Peso: N/A		Pág. 1 de 1

ANEXO B: DESENHOS DO PROTÓTIPO 1 DE MEDIÇÃO DA TENSÃO NA CAP-STRIP 3.



Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:			
			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Guia			
			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:	A	
Acabamento:	N.A.	N.A.				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768	
Descrição:	Componente					Médio		
Designação MP:						Material: Latão		
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress		Peso: 0,032 kg	Pág. 1 de 1	



Observações:

Desenho 3D: Jose.magrinho

Data:

Referência desenho:

Desenho 2D: Jose.magrinho

Data:

Placa Exterior

Aprovado:

Data:

Revisão 2D:

Revisão 3D: A

N.A.

N.A.

Tolerancia geral

PO n.14 / ISO 2768

Médio

Componente

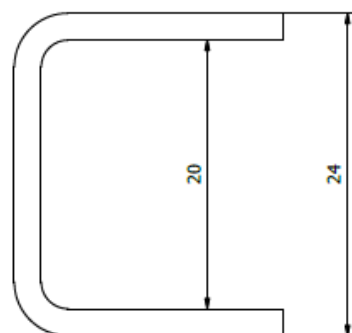
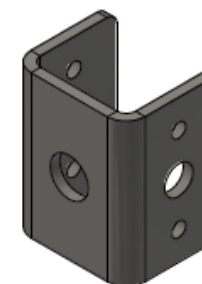
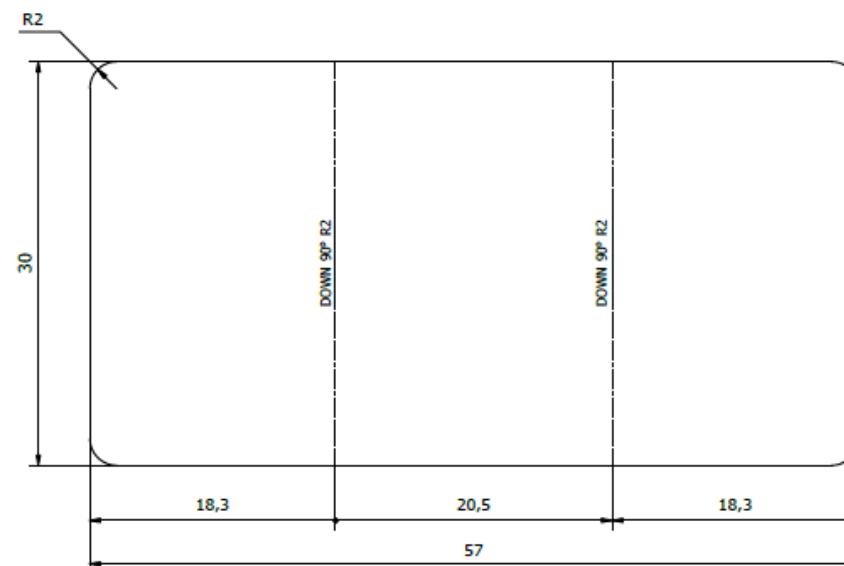
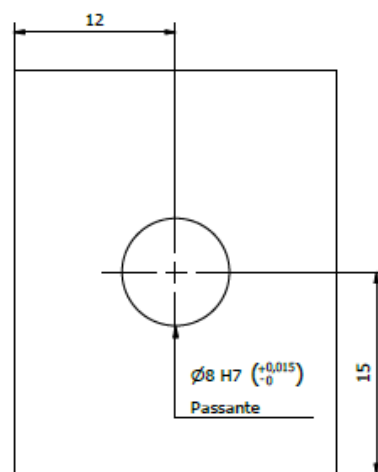
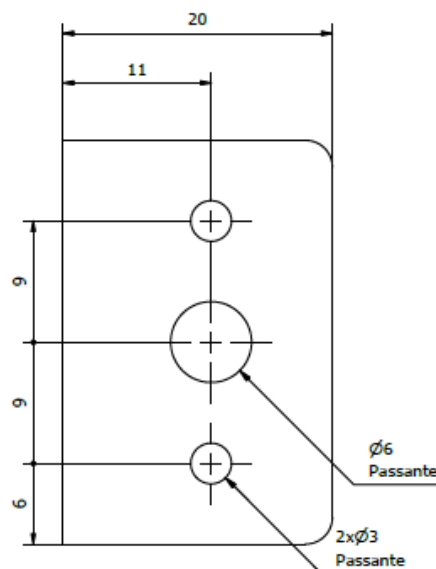
Material: Aluminio

Estado 3D: Work in Progress

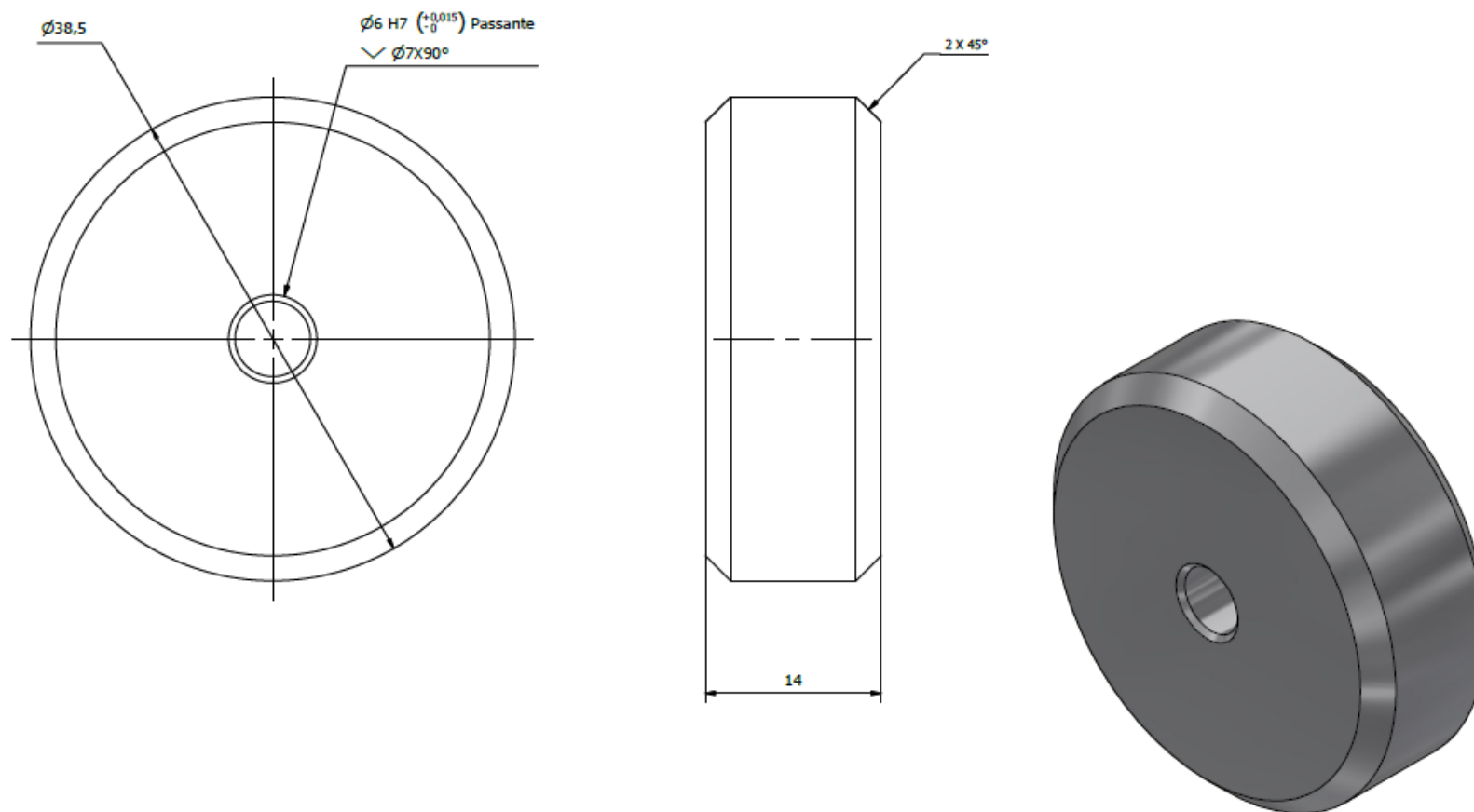
Peso: 0,034 kg

Pág. 1 de 1

PLANIFICADO

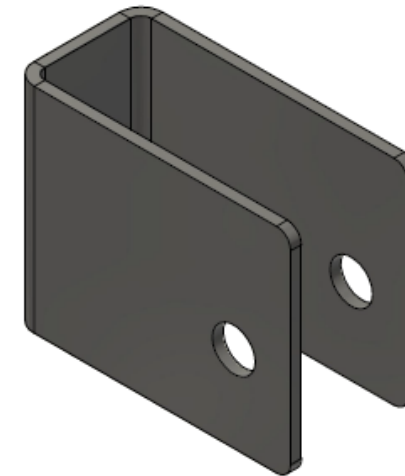
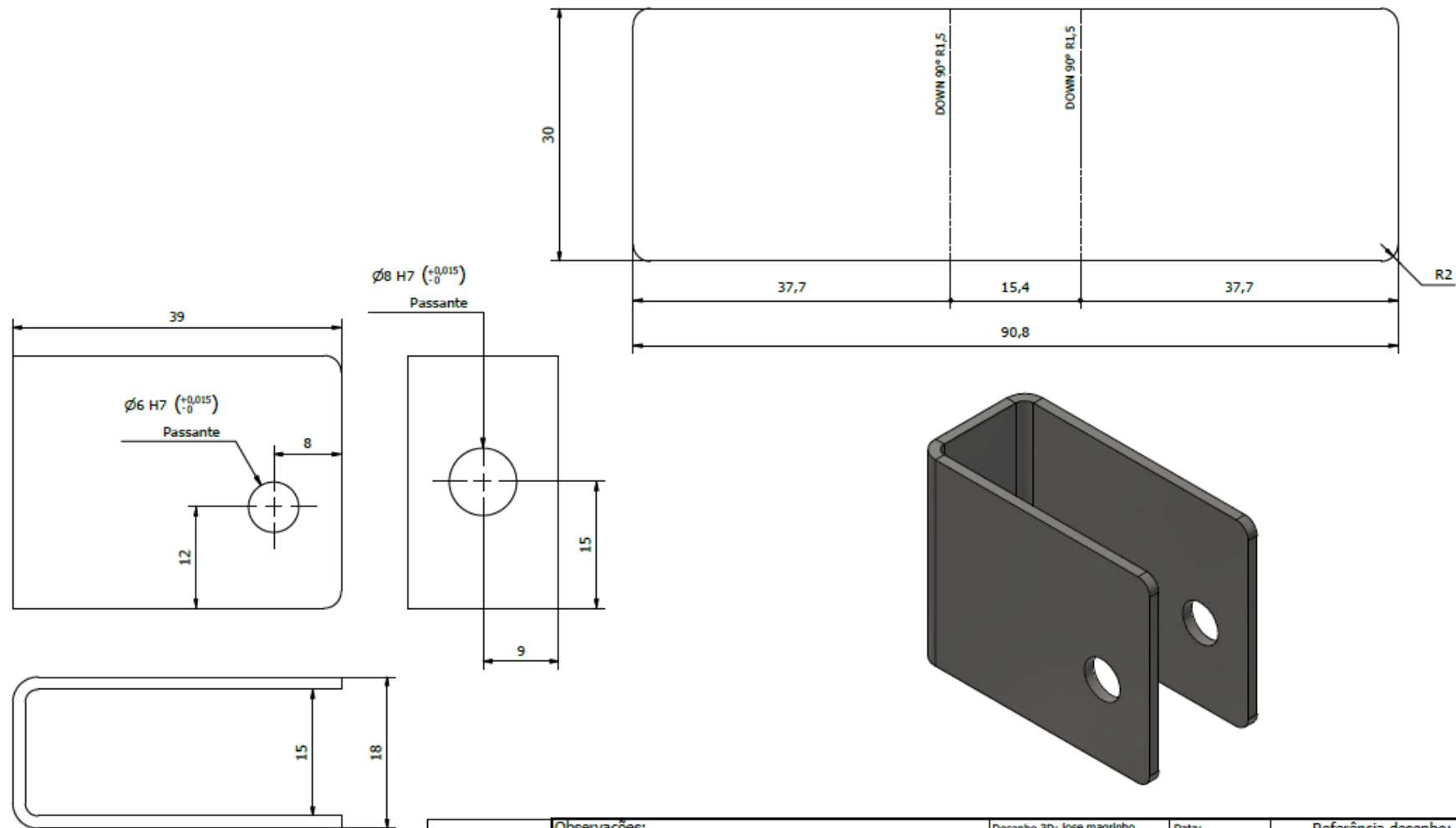


 PINTO BRASIL Guimarães Portugal www.pintoBrasil.pt	Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data: 25/09/2024	Referência desenho:		
				Desenho 2D: Jose.magrinho	Data: 25/09/2024	Placa Interior		
				Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:	A
	Acabamento:	N.A.	N.A.			Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
	Descrição:	Componente						
	Designação MP:	FALTA DEFINIR MATERIAL				Material: Alumínio		
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress	Peso: 0,009 kg	Pág. 1 de 1		

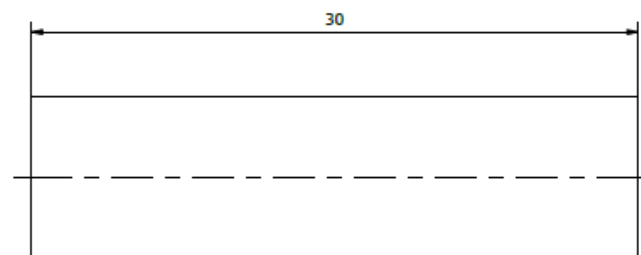
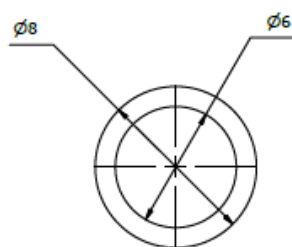


Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho		Data:		Referência desenho:		
			Desenho 2D: Jose.magrinho		Data:		Roda Modificada		
			Aprovado:		Data:		Revisão 2D:	Revisão 3D:	A
Acabamento:	N.A.		N.A.				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768	
Descrição:	Componente								
Designação MP:							Material: Alumínio		
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress			Peso: 0,042 kg		Pág. 1 de 1

PLANIFICADO



Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:			
			Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Suoprt e da Roda			
			Aprovado:	Data:	Revisão 2D:		Revisão 3D:	A
Acabamento:	N.A.	N.A.				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
Descrição:	Componente							
Designação MP:						Material: Generic		
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress	Peso: 0,004 kg		Pág. 1 de 1	



	Observações:			Desenho 3D: Jose.magrinho	Data:	Referência desenho:			
				Desenho 2D: Jose.magrinho	Data:	Tubo			
				Aprovado:	Data:	Revisão 2D:	Revisão 3D:	A	
	Acabamento:	N.A.	N.A.				Tolerancia geral	PO n.14 / ISO 2768 Médio	
	Descrição: Componente								
Designação MP:						Material: Polytetrafluoroethylene			
Artigo MP:			Estado 3D:	Work in Progress			Peso: 0,001 kg		Pág. 1 de 1

