



Análise do Processo de Enrolamento de Material Calandrado

FÁBIO ANDRÉ SARAIVA VILAÇA

novembro de 2022

ANÁLISE DO PROCESSO DE ENROLAMENTO DE MATERIAL CALANDRADO

Fábio André Saraiva Vilaça

1160922

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



ANÁLISE DO PROCESSO DE ENROLAMENTO DE MATERIAL CALANDRADO

Fábio André Saraiva Vilaça

1160922

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Doutora Rafaela Carla Barros Casais.

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Rafaela Carla Barros Casais

Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professora Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Carlos Miguel da Costa Gomes Fernandes

Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus orientadores, Eng. Pedro Neves, Professora Rafaela Casais e Professor Doutor Francisco Silva, por todo o auxílio prestado no desenvolvimento deste trabalho, pelo acompanhamento e desenvolvimento profissional e pessoal.

À Eng. Sara Severo, pela inclusão na empresa e conhecimento partilhado. Também a todos os colaboradores com os quais lidei ao longo do estágio, especialmente às equipas da Calandra.

Agradeço também aos meus pais por tornarem esta caminhada possível e por toda a força nos momentos difíceis. Um grande agradecimento à minha irmã pela sua presença e apoio.

Por último à Mariana, por toda a ajuda e presença ao longo de todo o projeto.

PALAVRAS-CHAVE

DMAIC; Enrolamento de dois materiais; Rugas; Material Calandrado; Tela Têxtil; Seis Sigma; Calandra; *Liner*

RESUMO

A competitividade crescente na indústria do pneu emerge de uma necessidade de aprimorar as componentes que completam o desenvolvimento do pneu. Assim, e acompanhado de mudanças tecnológicas ao longo do tempo, é expectável que o mercado continue a evoluir.

Com vista a obter vantagem competitiva, é imprescindível minimizar problemas de produção, nomeadamente, no que diz respeito ao desperdício. Neste sentido, o objetivo desta dissertação consiste numa análise do processo de enrolamento de material calandrado de forma a se identificarem estratégias que permitam reduzir o desperdício associado a esta etapa.

Recorrendo à metodologia *Action-Research*, a ferramenta DMAIC foi selecionada como método para análise e melhoria. Combinando com a utilização de técnicas *Lean* e Seis Sigma, foi possível proceder à fundamentação base do projeto, e identificar os problemas que lhe estão associados, com o propósito de incitar melhorias a nível da qualidade e eficácia de produção e, especificamente, à redução de desperdícios.

Através da participação de diversos intervenientes associados ao produto e ao processo de enrolamento, foi possível priorizar e reunir o conjunto de aspetos considerados críticos. Como resultado, foi elaborado um diagrama de Causa Efeito.

Os resultados permitiram melhorar a qualidade da informação existente sobre o processo e etapas constituintes, bem como, revelou viabilidade para elaborar testes mais direcionados para as especificidades dos materiais e aplicação de tensão associadas.

Adicionalmente, estes resultados contribuíram, não só para a literatura relativa ao enrolamento de dois materiais com propriedades diferenciadas, como para o desenvolvimento de futuros trabalhos internos neste âmbito.

KEYWORDS

DMAIC; Two material Winding; Wrinkles; Calendered Material; Textile Web; Six Sigma; Calender Machine, Liner

ABSTRACT

The increasing competitiveness in the tire industry emerges from a necessity to improve the components that compose the development of the tire. Therefore, and accompanied by technological changes over time, the market is expected to continue to evolve.

To obtain competitive advantage, it is essential to minimize production problems, namely in what concerns waste. In this sense, the main objective of this dissertation consists in analysing the process of winding calendered material in order to identify strategies that reduce the waste associated with this stage.

Using the Action-Research methodology, the DMAIC tool was selected as a method for analysis and improvement. Combined with the use of Lean and Six Sigma techniques, it was possible to proceed to the basic rationale of the project, and to identify the problems associated, with the purpose of stimulating improvements at the level of production quality and efficiency, and, more specifically, waste reduction.

Through the participation of several stakeholders associated with the product and winding process, it was possible to prioritise and assemble the set of aspects considered critical. As a result, a Cause-and-Effect diagram was developed.

The results allowed to improve the quality of existing information regarding the process and its constituent stages, as well as revealed feasibility to elaborate more targeted tests to the specificities of the materials and associated stress application.

Additionally, these results contributed not only to the literature on the winding of two materials with different properties, but also to the development of future internal work in this area.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i>
5W1H	<i>5 Whys 1 How</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAL	<i>Calandra</i>
CST	<i>Conti Special Tire</i>
DEP	<i>Direção de Engenharia e Processo</i>
DE	<i>Direção de Engenharia</i>
DIP	<i>Direção de Industrialização de Produto</i>
DMADV	<i>Define – Measure – Analyze – Design - Validate</i>
DMAIC	<i>Define - Measure – Analyze – Improve – Control</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PDCA	<i>Plan – Do – Check - Act</i>
PME	<i>Pequena e média empresa</i>
PLT	<i>Passenger Light Truck</i>
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>

TQM	<i>Total Quality Management</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

Lista de Unidades

kg	Quilograma
kg/km	Quilograma de desperdício por quilómetro produzido
km	Quilómetro
m	Metro
N	Newton

Lista de Símbolos

μ	Coeficiente de atrito
F	Força aplicada
w	Largura da tela
€	Moeda Euro
n	Camada número n
N	Força Normal
%	Porcentagem
π	Pi
σ_r	Tensão radial
I	Momento de inércia
τ	Momento

T	Momento
α	Aceleração angular

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Big Runner</i>	Material calandrado de maior produção da empresa
<i>Bleeders</i>	Fios de identificação do material calandrado
<i>Dancer-roller</i>	Sistema instalado em linhas de enrolamento de materiais capaz de controlar tensões
<i>DMADV</i>	Metodologia de redução de desperdícios para novos processos
<i>DMAIC</i>	Metodologia de redução de desperdícios para processos já existentes
<i>J-Line</i>	Traço na face lateral de um rolo para que seja facilmente observado fenómenos de escorregamento entre camadas
<i>Jidoka</i>	Método da filosofia <i>Lean</i> para garantir a qualidade integrada
<i>JIT</i>	Estratégia de gestão industrial
<i>Kaizen</i>	Práticas de melhoria contínua
<i>Kanban</i>	Quadro para organização de trabalho
<i>Layout</i>	Modo de distribuição de elementos numa superfície
<i>Lead time</i>	Tempo de ciclo
<i>Lean</i>	Filosofia de gestão
<i>LetOff</i>	Zona de alimentação de material
<i>Liner</i>	Tela de polipropileno que atua como meio de armazenamento de material calandrado
<i>Material standard</i>	Material normalizado
<i>Mesas</i>	Local de armazenamento de compostos de borracha

<i>Nip Roller</i>	Rolo que entra em contacto com material a enrolar, durante todo o enrolamento, de forma a conferir ao rolo final as propriedades desejadas
<i>OEE</i>	Ferramenta de avaliação da prestação de um equipamento
<i>Paternoster</i>	Armazém automático
<i>PDCA</i>	Metodologia cíclica de gestão
<i>Performance</i>	Desempenho de uma ação
<i>Pull</i>	Estratégia <i>Lean</i> para redução de desperdícios
<i>Poka-Yoke</i>	Técnica de normalização de trabalho anti erro
<i>Racks</i>	Estantes para armazenamento de material
<i>Rider Roller</i>	Rolo livre
<i>Roll-to-Roll</i>	Transferência de uma tela de um rolo para outro
<i>Rolos</i>	Conjunto de <i>liner</i> com material calandrado
<i>SetUp</i>	Preparação de equipamento
<i>Sigma</i>	Desvio Padrão
<i>SIPOC</i>	Quadro resumo de entradas e saídas de um ou vários processos
<i>SMED</i>	Ferramenta de redução de tempo de preparação de máquinas
<i>Stakeholders</i>	Intervenientes diretos ou indiretos de um processo ou negócio
<i>Starring</i>	Defeito de enrolamento que confere ao rolo uma aparência lateral em forma de estrela
<i>Taper</i>	Teoria de redução de força aplicada ao material a enrolar para conferir propriedades desejadas e evitar defeitos
<i>Takt</i>	Tempo de ciclo máximo para responder às necessidades do cliente
<i>Telescoping</i>	Fenómeno de movimento lateral ao longo de um enrolamento
<i>TQM</i>	Modelo de gestão

<i>TPS</i>	Estratégia de gestão industrial
<i>Trabalho Standard</i>	Trabalho normalizado
<i>Turnover Time</i>	Tempo de conclusão de um processo
<i>Value Stream Mapping</i>	Fluxograma que documenta todos os passos de um processo
<i>Winder</i>	Máquina de enrolar material
<i>Wind Up</i>	Estação de enrolamento de material

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fases da metodologia <i>Action-Research</i> (adaptado de Martins <i>et al.</i> (2020))	2
Figura 2 - Metodologia DMAIC. Adaptado de Costello e Molloy (2008)	3
Figura 3 - Venda anual de pneus na Europa em milhões de unidade (<i>EU: Tire Sales by Vehicle Type 2012-2021, 2022</i>)	7
Figura 4 - Comparação de vendas de pneus no segundo trimestre entre 2019, 2020 e 2021 (ETRMA, 2021)	8
Figura 5 - Comparação de vendas de pneus no primeiro trimestre entre 2021 e 2022 (ETRMA, 2022).....	8
Figura 6 - Crescimento do valor de mercado europeu de pneus (<i>Europe Tire Market 2028 Size, Share, Trend & Forecast BlueWeave, 2022</i>)	9
Figura 7 - Esquema de componentes do pneu (Uniroyal, 2021)	11
Figura 8 - Métodos de enrolamento (Good, 2005)	14
Figura 9 – Esquema de célula de carga (adaptado de (<i>The Importance of Load Cells (Transducers), 2022</i>))	15
Figura 10 - Rolo <i>Liner</i> com o fenómeno <i>starring</i>	16
Figura 11 - <i>Crepe Wrinkle</i> secção transversal da ruga(McDonald, 2014).....	16
Figura 12 - Esquema de um rolo com fenómeno <i>Telescoping</i> (Dehui <i>et al.</i> , 2014).....	17
Figura 13 - Rugas na direção do enrolamento.....	17
Figura 14 - Esquema <i>J-Line</i>	18
Figura 15 - Parametrização da <i>J-Line</i>	19
Figura 16 - Ruga direção do enrolamento	20
Figura 17 - Casa <i>Lean</i> . Adaptado de Wilson (2010).....	24
Figura 18 - Ciclo DMAIC. Adaptado de Costello e Molloy (2008)	27
Figura 19 - Diagrama SIPOC (Brown, 2019)	29
Figura 20 - Diagrama Causa Efeito (Varzakas, 2015)	30
Figura 21 - Resumo Continental Mabor e Grupo Continental AG	34
Figura 22 - Zona de Calandragem.....	35
Figura 23 - Moinho da calandra 2.....	36
Figura 24 - Estações de <i>LetOff</i> de material em verde.....	36

Figura 25 - Rolo de tecido em verde colocado numa estação de <i>LetOff</i>	37
Figura 26 - Estação de enrolamento.....	37
Figura 27 - Esquema da Calandra 1	38
Figura 28 - Fluxograma da produção de um rolo	42
Figura 29 - Mesa de composto	43
Figura 30 - Ponto de alimentação de moinho na calandra 2.....	43
Figura 31 - Gráfico de desperdícios diários por calandra em quilograma	47
Figura 32 - Quadro Resumo semana 2 a 12.....	49
Figura 33 - Produção de material entre semana 2 a 12	49
Figura 34 - Métricas de análise da calandra 1	50
Figura 35 - Métricas de análise da calandra 2	50
Figura 36 - Informação sobre <i>Liner</i> semana 2 a 12	50
Figura 37 - Histograma quantidade de desperdício por ocorrência	51
Figura 38 - Terminal de <i>liner</i> com <i>layout</i> de velcro antigo	52
Figura 39 - Tecido de <i>liner</i> deformado devido a velcros	53
Figura 40 - Novo <i>layout</i> de velcro.....	53
Figura 41 - Novo <i>layout</i> de velcro.....	54
Figura 42 - Final do material com velcro novo	54
Figura 43 - Final do material com velcro antigo	55
Figura 44 – Exemplo do caderno para registo de <i>liners</i>	56
Figura 45 - Ajuda visual para registo de <i>liners</i>	56
Figura 46 - Cabeçalho do Manual de registo de manutenções de <i>liners</i>	57
Figura 47 - <i>Liner</i> rasgado	57
Figura 48 - Quadro resumo semana 20 a 30	58
Figura 49 - Gráfico de desperdícios diários por calandra em quilograma Semana 20 a 30	58
Figura 50 - Informação sobre <i>liner</i> semana 20 a 30	58
Figura 51 - Lista <i>liners</i> críticos.....	59
Figura 52 - Diagrama Causa Efeito desenvolvido pelo grupo que efetuou o <i>Brainstorming</i>	60
Figura 53 - Comparação métrica kg/km produzido CAL1 vs CAL2.....	60
Figura 54 - Velocidades de enrolamento na Calandra 2.....	61

Figura 55 - Velocidade de enrolamento na Calandra 1	62
Figura 56 - Nova curva de velocidade de enrolamento na Calandra 1.....	62
Figura 57 - <i>Liner</i> fechado em vazio.....	63
Figura 58 - Informações sobre terminais e <i>liners</i>	64
Figura 59 - Contagem de <i>liners</i> em função do tipo de terminal	64
Figura 60 - Curva da Banheira da distribuição de Weibull (Lu <i>et al.</i> , 2016).....	65
Figura 61 - Exemplo 1 de rolo descentrado do núcleo	66
Figura 62 - Exemplo 2 de rolo descentrado do núcleo.....	66
Figura 63 - Plano de testes para ensaios de coeficiente de atrito.....	68
Figura 64 - Equipamento para ensaios de coeficiente de atrito.....	69
Figura 65 – Esquema do <i>Liner</i>	70
Figura 66 - Gráfico-Tipo Ensaio coeficiente de atrito	70
Figura 67 - Arrancamento de <i>Bleeders</i>	74
Figura 68 - Curva de força com arrancamento do <i>Bleeder</i>	74
Figura 69 - Ciclo utilização de um <i>Liner</i>	82
Figura 70 - <i>Liner</i> novo danificado por desalinhamento	83
Figura 71 - Gráfico exemplo alongamento <i>Liner</i> Antigo	85
Figura 72 - Gráfico exemplo alongamento <i>Liner</i> Novo	85
Figura 73 - Exemplo de rolo com defeito e <i>J-Line</i> deformada	87
Figura 74 - Gráfico após alteração do acumulador	88
Figura 75 - Gráfico antes da alteração do acumulador	88
Figura 76 - Resumo da metodologia DMAIC aplicada	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Percentagem de cada material na constituição de um pneu (Senin <i>et al.</i> , 2016)	9
Tabela 2 - Etapas da produção de um pneu	10
Tabela 3 - Constituição do pneu	11
Tabela 4 - Diferentes sistemas de enrolamento	13
Tabela 5 - Resumo de defeitos de enrolamento	16
Tabela 6 - Resumo de trabalhos com aplicações <i>Lean</i>	22
Tabela 7 - Resumo de trabalho com aplicações Seis Sigma	25
Tabela 8 - Tipos de Rugas	39
Tabela 9 - Ferramenta 5W1H	40
Tabela 10 - Diagrama SIPOC	44
Tabela 11 - Média semanal e diária de desperdício	48
Tabela 12 - Resultados Teste 1	71
Tabela 13 - Resumo Teste 1	71
Tabela 14 - Resultados Teste 2	71
Tabela 15 - Resumo Teste 2	72
Tabela 16 - Comparação entre <i>Liners</i> testes 1 e 2	72
Tabela 17 - Resultados Teste 3	72
Tabela 18 - Resumo Teste 3	73
Tabela 19 - Resultados Teste 4	73
Tabela 20 - Resumo Teste 4	73
Tabela 21 - Comparação entre <i>Liners</i> testes 3 e 4	73
Tabela 22 - Resultados Teste 5	75
Tabela 23 -Resumo Teste 5	75
Tabela 24 - Resultados Teste 6	75
Tabela 25 - Resumo Teste 6	76
Tabela 26 - Comparação entre <i>Liners</i> Teste 5 e 6	76
Tabela 27 - Resultados Teste 7	76

Tabela 28 - Resumo Teste 7	77
Tabela 29 - Resultados Teste 8	77
Tabela 30 - Resumo Teste 8	77
Tabela 31 - Comparação entre <i>Liners</i> Teste 7 e 8	77
Tabela 32 – Teste na direção de enrolamento com <i>Liner</i> novo	79
Tabela 33 - Resumo do teste na direção enrolamento com <i>Liner</i> novo	79
Tabela 34 – Teste na direção de enrolamento com <i>Liner</i> Antigo	79
Tabela 35 – Resumo do teste na direção de enrolamento com <i>Liner</i> Antigo	79
Tabela 36 - Comparação de testes entre <i>Liners</i> na direção de enrolamento	80
Tabela 37 - Teste na direção lateral com <i>Liner</i> Novo	80
Tabela 38 - Resumo do teste na direção lateral com <i>Liner</i> Novo	81
Tabela 39 - Teste na direção lateral com <i>Liner</i> Antigo	81
Tabela 40 – Resumo do teste na direção lateral com <i>Liner</i> Antigo	81
Tabela 41 – Comparação de testes entre <i>Liners</i> na direção lateral	81
Tabela 42 - Resultado de Teste Alongamento <i>Liner</i> Antigo	84
Tabela 43 - Resultado de Teste Alongamento <i>Liner</i> Novo	84
Tabela 44 – Iterações para o alongamento dos <i>liners</i>	86
Tabela 45 - Conclusão de objetivos e seu cumprimento	99

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Metodologia utilizada	2
1.4	Estrutura da dissertação	3
1.5	Empresa de acolhimento	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Indústria dos Pneus.....	7
2.2	Processo de enrolamento	12
2.2.1	Métodos de enrolamento	12
2.2.2	Tensões durante o enrolamento.....	14
2.2.2.1	Células de Carga.....	14
2.2.2.2	Balanceiros.....	15
2.2.3	Defeitos de enrolamento	15
2.2.3.1	Deslizamento entre camadas.....	18
2.2.3.2	Rugas direção de enrolamento.....	20
2.3	Lean	21
2.3.1	Introdução.....	21
2.3.2	Ferramentas	23
2.4	Six Sigma.....	24
2.4.1	Introdução.....	25
2.4.2	Métodos e ferramentas.....	27
2.4.2.1	Métodos.....	27

2.4.2.2	Ferramentas.....	29
3	DESENVOLVIMENTO.....	33
3.1	Apresentação da empresa e processo produtivo da tela têxtil.....	33
3.1.1	Continental AG.....	33
3.1.2	Continental Mabor.....	34
3.1.3	Caracterização do processo de produção de tela têxtil.....	35
3.2	Aplicação DMAIC.....	39
3.2.1	Define – Definir.....	39
3.2.2	Measure – Medir.....	45
3.2.3	Analyze – Analisar.....	48
3.2.4	Improve – Melhoria.....	51
3.2.4.1	Variação da velocidade de enrolamento.....	61
3.2.4.2	Fatores associados aos terminais de liner.....	63
3.2.4.3	Propriedades e tipos de Liner.....	67
3.2.4.4	Outros testes realizados.....	88
3.2.5	Control - Controlo.....	90
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	95
4.1	Conclusões.....	95
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	100
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	105
6	ANEXOS.....	111
6.1	Ajuda visual para caracterização de unidades de armazenamento.....	111
6.2	Diagrama Causa Efeito.....	112

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia utilizada

1.4 Estrutura da dissertação

1.5 Empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O desenvolvimento da indústria de pneus emerge de uma evolução do mercado automóvel que é acompanhada por um investimento a nível tecnológico no que diz respeito ao desenvolvimento do pneu, bem como ao aumento da aquisição de automóveis, quer de passageiros, quer comerciais. Numa perspetiva global, é expectável que este mercado continue a crescer, sendo impulsionado, principalmente, pelo aumento da produção e venda de automóveis.

O pneu é uma estrutura composta por vários elementos integrados que, ao longo dos anos, se tornou mais exigente para garantir competitividade no mercado atual. Por conseguinte, existe uma necessidade de melhorar a eficiência do desenvolvimento do pneu. Consequentemente, é imprescindível que o desperdício na produção seja reduzido.

A temática abordada nesta dissertação debruça-se, essencialmente, sobre a tela têxtil, um dos constituintes do pneu. Após a produção do material, é necessário que o mesmo seja armazenado. Para esta finalidade, o material é enrolado juntamente com um tecido, para evitar que não cole nele próprio. No processo de enrolamento, por vezes, verifica-se um elevado desperdício associado a rugas, isto é, a sobreposição de material, que impacta diretamente na produtividade.

Com a verificação da crescente quantidade de existência de rugas no processo, existe uma necessidade de prover atenção à temática, de forma a garantir os níveis de produtividade e, simultaneamente, de qualidade.

1.2 Objetivos

A presente dissertação fundamenta-se na análise do processo de enrolamento de tela têxtil proveniente das dificuldades identificadas, no ano 2021, relativamente a defeitos associados ao processo. O processo de enrolamento está diretamente associado ao processo de calandragem deste produto, que advém de borracha e tecido constituído por cordas, tendo como resultado uma tela têxtil e o seu enrolamento, utilizado como meio de armazenamento.

O objetivo principal consiste em reduzir os valores de desperdício diário associados a rugas durante o enrolamento, para quantidades inferiores a 40 kg.

Assim, como objetivos globais foi definido:

- Análise do processo de calandragem e enrolamento;
- Definição de potenciais causas raiz para o problema identificado;
- Análise dos pontos identificados como possíveis causas raiz;
- Redução do desperdício diário, por defeito de rugas.

1.3 Metodologia utilizada

A definição da metodologia na fase inicial do trabalho pode ditar o caminho a seguir em todo o projeto. Dada a importância da definição do método de trabalho para o desenvolvimento da dissertação. O percurso definido pode ter influência direta no alcance dos objetivos. Posto isto, para o desenvolvimento do presente trabalho foi adotada a metodologia de investigação *Action-Research*. Na Figura 1, ilustra-se esta metodologia.

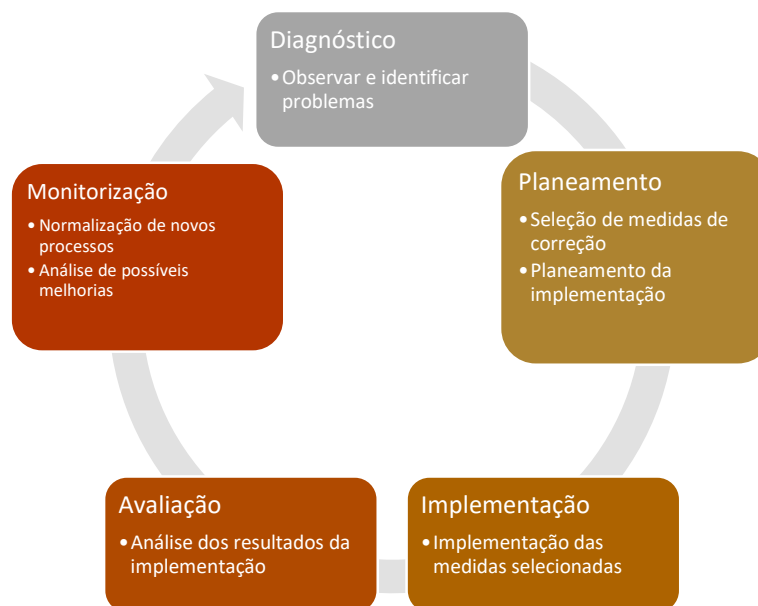


Figura 1 - Fases da metodologia *Action-Research* (adaptado de Martins *et al.* (2020))

De forma a poder auxiliar a metodologia e a adaptá-la ao objetivo da redução de desperdícios, a metodologia DMAIC foi escolhida como abordagem principal ao problema. Sendo DMAIC um ciclo idêntico ao *Action-Research*, o presente trabalho, apoia-se, essencialmente, nas etapas da metodologia. Na Figura 2, é possível verificar cada uma destas etapas, sob a forma de ciclo, e verificar a sua semelhança à metodologia *Action-Research* (Figura 1).

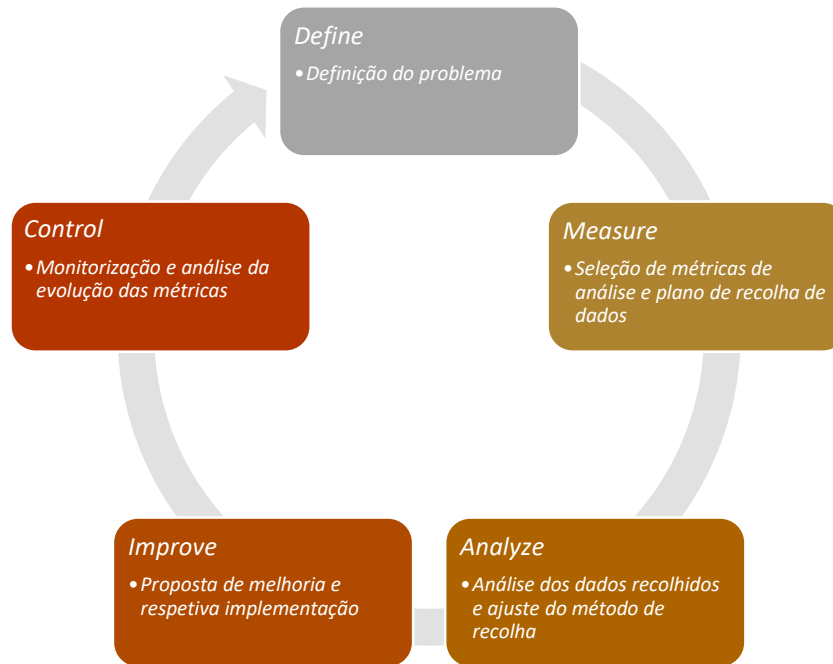


Figura 2 - Metodologia DMAIC. Adaptado de Costello e Molloy (2008)

Salienta-se que, numa fase posterior, a metodologia DMAIC será abordada com maior detalhe.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos, que se ramificam em diversos subcapítulos.

O primeiro capítulo inicia com um breve enquadramento da área, da empresa de acolhimento em que se insere a dissertação, bem como, os seus objetivos de investigação e metodologia aplicada.

A secção seguinte corresponde à revisão bibliográfica, onde são abordados os temas relevantes e necessários para sustentar o desenvolvimento do projeto.

No terceiro capítulo, é apresentado todo o desenvolvimento efetuado durante o decorrer do projeto. Inicia com uma apresentação pormenorizada da empresa de acolhimento e do processo produtivo que irá ser alvo de análise. Posteriormente, é também apresentado e justificado o tipo de abordagem e método aplicado à investigação. Este capítulo também reflete o processo de análise dos dados recolhidos, assim como, os diversos testes conduzidos.

O último capítulo contempla as conclusões retiradas sobre o trabalho desenvolvido ao longo do projeto, assim como, a ligação com a implementação do método aplicado no processo analisado. No final do capítulo são delineadas as propostas de melhoria e orientações para trabalhos futuros.

1.5 Empresa de acolhimento

Foi realizado na empresa CONTINENTAL MABOR – Indústria de Pneus, S.A. (CMIP) o estágio curricular que permitiu o desenvolvimento desta dissertação. A empresa localiza-se em Lousado, freguesia pertencente a Vila Nova de Famalicão.

O foco desta empresa é o desenvolvimento e produção de pneus para veículos ligeiros, pesados e agrícolas.

A união da Continental AG à MABOR deu-se em 1990, que nesse ano passou a deter 60% do capital social, tendo em 1993 feito o investimento para deter a totalidade do capital social da empresa. Neste momento, é constituída por mais de 2500 colaboradores, distribuídos por três turnos diários.

Este estágio teve início em meados de janeiro com uma duração de seis meses, sob a orientação do Eng. Pedro Neves, Técnico de Calandra e Corte da Direção de Engenharia e Processo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Indústria dos Pneus
- 2.2 Processo de enrolamento
 - 2.3 Lean
 - 2.4 Six Sigma

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria dos Pneus

Dado o incremento anual verificado na última década nas vendas de pneus na Europa, como observado na Figura 3, é necessário que a eficiência no processo de produção de pneus seja melhorada. Para melhorar a eficiência, é fundamental que os desperdícios sejam reduzidos.

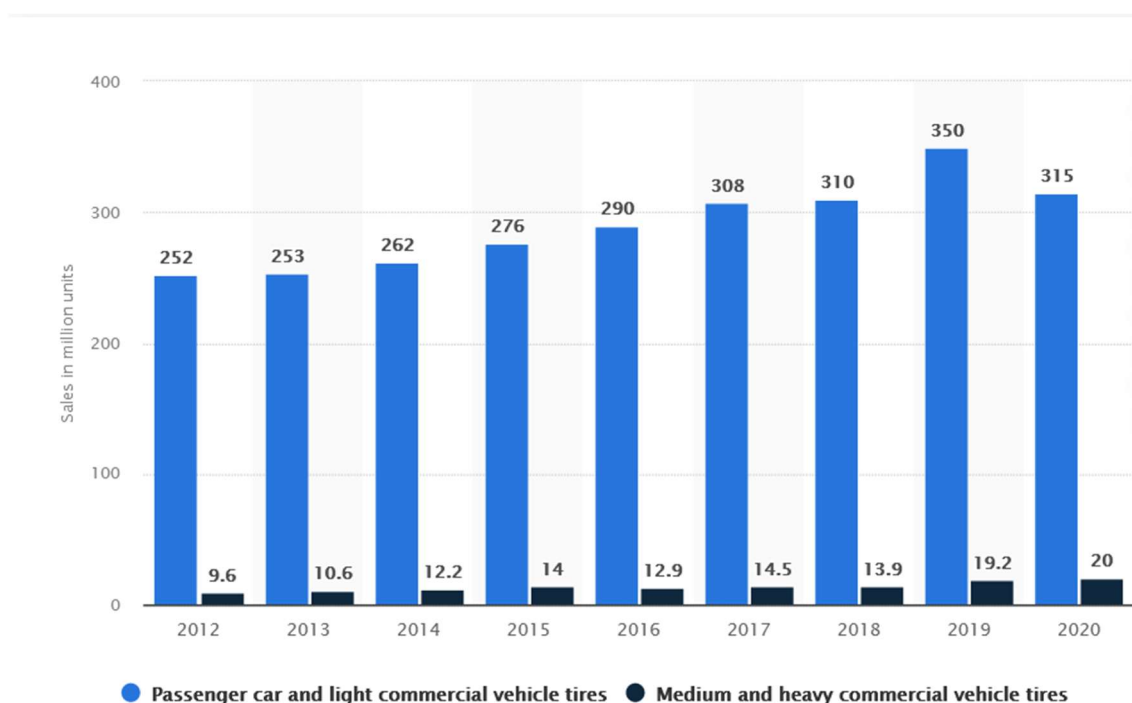


Figura 3 - Venda anual de pneus na Europa em milhões de unidade (EU: Tire Sales by Vehicle Type 2012-2021, 2022)

No ano 2020, devido à pandemia SARS-CoV-2, era expectável um decréscimo da venda de pneus no continente europeu, que proveio do confinamento de uma grande parte da população europeia. No entanto, a reposição do quotidiano da população em 2021 levou a um retorno à normalidade do volume de vendas, face a 2019, tal como é possível verificar na Figura 4.

<i>In '000 units*</i>	2 nd Q 2019 YTD	2 nd Q 2020 YTD	2 nd Q 2021 YTD	Variation Q2 2021/Q2 2020	Variation Q2 2021/Q2 2019
Replacement Consumer¹ tyres	50.934	34.956	50.233	44%	-1%
Of which Car Summer tyres	29.721	20.409	27.795	36%	-6%
Of which Car all seasons tyres	3.976	3.122	5.451	75%	37%
Of which Car Winter tyres	7.734	4.715	6.411	36%	-17%
Replacement Truck Tyres	2.959	2.267	3.220	42%	9%
Replacement Agricultural Tyres	307	295	314	6%	2%
Replacement Moto & scooter Tyres	2.701	1.991	2.814	41%	4%

Figura 4 - Comparação de vendas de pneus no segundo trimestre entre 2019, 2020 e 2021 (ETRMA, 2021)

Já com dados atualizados, e estabelecendo uma comparação entre os primeiros trimestres de 2021 e 2022, na Figura 5, é possível verificar um aumento significativo face ao ano anterior, durante o mesmo período.

<i>In '000 units*</i>	1 st Q 2021 YTD	1 st Q 2022 YTD	Variation %
Replacement Consumer¹ tyres	56.708	61.674	9%
Of which Car Summer tyres			4%
Of which Car all seasons tyres			22%
Of which Car Winter tyres			8%
Replacement Truck & Bus Tyres	3.335	3.674	10%
Replacement Agricultural Tyres	368	344	-7%
Replacement Moto & scooter Tyres	3.248	3.551	9%

Figura 5 - Comparação de vendas de pneus no primeiro trimestre entre 2021 e 2022 (ETRMA, 2022)

Assim, considerando os dados apresentados previamente, constata-se um aumento da procura de pneus a nível europeu.

Segundo a *BlueWeaving Consulting*, em 2021, o mercado europeu de pneus correspondia um valor de cerca de 42 300 milhões de dólares americanos. De acordo com a sua estimativa de crescimento de mercado, foi apresentada uma taxa anual de crescimento de 3,9%, esperando-se à data de 2028, que o mercado apresente um valor de cerca de 54 700 milhões de dólares americanos (*Europe Tire Market 2028 Size, Share, Trend & Forecast | BlueWeave, 2022*).

Na Figura 6, é possível observar o gradual crescimento esperado no mercado de pneus europeu.

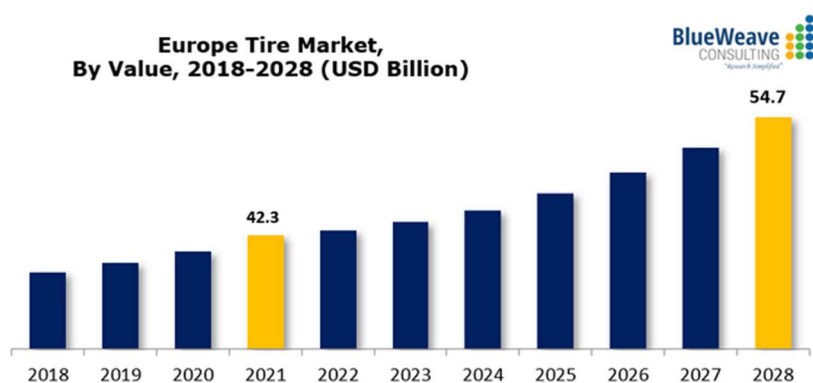


Figura 6 - Crescimento do valor de mercado europeu de pneus (*Europe Tire Market 2028 Size, Share, Trend & Forecast | BlueWeave, 2022*)

Assim, para responder a este crescimento de mercado, é essencial proceder à melhoria de todo o processo de produção do pneu bem como aumentar a sua eficiência.

Como é expectável, cada empresa desenvolve o seu produto de acordo com o processo internamente estabelecido, todavia, este processo acaba por ser semelhante, na generalidade, por todo o setor.

Grande parte das vendas de pneus são referentes a veículos ligeiros e a veículos pesados para uso em estrada. Embora o processo seja ligeiramente diferente, os materiais utilizados são idênticos e em quantidades específicas, conforme apresentado na tabela abaixo (Tabela 1), em percentagens.

Tabela 1 - Percentagem de cada material na constituição de um pneu (Senin *et al.*, 2016)

Material	Veículo ligeiro (%)	Veículo pesado (%)
Borrachas e elastómeros	41 a 48	41 a 45
<i>Carbon black</i>	22 a 28	20 a 28
Metal e aço	13 a 16	20 a 27
Têxtil	4 a 6	0 a 10
Aditivos	10 a 12	7 a 10

O processo de produção só se inicia a larga escala, isto é, a ser produzido em massa, após ser desenvolvido pelos departamentos de pesquisa e desenvolvimento. Este processo inicial abrange todas as etapas de *design*, simulação e testes em baixa escala. Caso o pneu inicialmente desenvolvido se verifique viável para construção, segue para a fase de teste, tanto em laboratório como em pista e estrada. Salienta-se que, o pneu pode ser desenvolvido de raiz ou constituir um aprimoramento de uma versão antiga.

Após a fase de testes, passa para uma fase de produção em série. De seguida, na Tabela 2, serão abordadas as etapas do processo de desenvolvimento do pneu (Continental, 2021).

Tabela 2 - Etapas da produção de um pneu

Fase	Descrição
Misturação	Trata de fazer a misturação entre diferentes tipos de borrachas (borrachas naturais e borrachas sintéticas) e outras matérias-primas para obter diferentes compostos finais. Estes compostos poderão ainda ser misturados em fases seguintes, com o intuito de originar borrachas com propriedades distintas para diferentes utilidades.
Preparação	Tem como objetivo criar, através de compostos e outras matérias-primas, como cordas têxteis e cordas metálicas, todos os componentes que originam o pneu.
Construção	Efetua a montagem de todos os constituintes do pneu, de forma a dar origem a um “pneu verde”. Pode ser distinguido em duas fases: montagem da zona exterior e montagem das laterais. O pneu com esta designação é apenas um pneu que ainda não foi vulcanizado, e ainda não tem todas as propriedades e aspeto finais.
Vulcanização	Fase do processo em que os pneus são colocados em prensas e moldes próprios mediante a especificação do pneu. São sujeitos a elevadas temperaturas e altas pressões, para que lhes seja conferido tanto o aspeto como as propriedades finais.
Inspeção Final	Embora todos os componentes dos pneus estejam sujeitos a inspeções intermédias, também é requerida uma etapa de controlo de qualidade, no produto final. A inspeção final consiste em verificar todos os detalhes do pneu visualmente, verificar a sua uniformidade, e é ainda avaliado através de raio-X.

Considerando a descrição anterior sobre o processo, de uma forma simplificada, da criação de um pneu, é importante distinguir os diferentes componentes do pneu abordados na etapa da Construção. Assim, na Figura 7, é possível verificar um esquema básico que distingue os componentes e a respetiva ilustração descrita, posteriormente, na Tabela 3.



Figura 7 - Esquema de componentes do pneu (Uniroyal, 2021)

Tabela 3 - Constituição do pneu

Número	Descrição
1	Piso – o que fica em contacto com o solo, garante a aderência e escoamento de água
2	<i>CapPly</i> – borracha com cordas têxteis, garante a estabilidade do pneu a altas velocidades
3	Cinta metálica – mantém o formato do pneu e garante a estabilidade direcional
4	Tela têxtil – controla e mantém tanto a pressão interna do ar do pneu como o seu formato
5	<i>Inner liner</i> – garante a estanquidade do pneu para que não liberte ar pela borracha
6	Parede – confere dimensões ao pneu, protege os componentes internos de pancadas e de elementos externos e transporta informações sobre o produto
7	Reforço do talão – aumenta a estabilidade direcional e precisão na manobrabilidade da viatura

-
- | | |
|---|--|
| 8 | Cunha do talão – aumenta o conforto e contribui para a estabilidade direcional e precisão da condução |
| 9 | Núcleo do talão – conjunto de fios metálicos impregnados em borracha, que garante que o pneu se mantém seguro na jante |
-

Na presente dissertação será abordado o processo de armazenamento da tela têxtil (na sua etapa de produção), que consiste num rolo de cerca de 450 metros de comprimento com largura fixa, podendo o comprimento, variar conforme as necessidades de produção. Este processo constitui a fase de enrolamento, após a calandragem de borracha com cordas, com vista ao armazenamento do material intitulado de material calandrado.

Este processo é de elevada complexidade devido à elevada cadência de produção, continuidade do fluxo de material calandrado e imprevisibilidade do processo de enrolamento.

2.2 *Processo de enrolamento*

O processo de enrolamento consiste no envolvimento de um material em torno de um núcleo com vista à facilitação do seu armazenamento, transporte e, por conseguinte, aumentar a capacidade de produção (Roisum, 2016). Uma das principais formas de acomodar materiais de baixa espessura, flexíveis e longos, é através do seu enrolamento, que também poderá ser denominado de tela, tecido ou filme, mediante o material pelo qual é composto (Roisum, 2016).

De modo a alcançar a máxima eficiência, este processo poderá tornar-se extremamente complexo devido, não só à instabilidade dos materiais, e sua muito reduzida espessura, bem como às elevadas velocidades de trabalho aplicadas nestes sistemas (Roisum, 2016).

2.2.1 *Métodos de enrolamento*

Existem vários tipos de sistemas de enrolamento para aplicar considerando a utilização de materiais diferentes com propriedades físicas distintas. Neste sentido, cada tipo de sistema confere, ao rolo definitivo, propriedades diferentes, cada um com vantagens e desvantagens associadas.

Na tabela abaixo apresenta-se um resumo dos diferentes tipos de sistemas de enrolamento.

Tabela 4 - Diferentes sistemas de enrolamento

Tipo de sistema	Descrição do método
<i>Center Winder</i>	Sistema com funcionamento simples. Constituído apenas por um motor acoplado ao núcleo do rolo, no qual o motor gera o binário necessário para tracionar o material com a tensão desejada (Roman <i>et al.</i> , 2020). O funcionamento é considerado simples, embora o controlo de tensões seja complexo.
<i>Center Winder with Rider Roller</i>	Sistema idêntico ao <i>Center Winder</i> . Apresenta um rolo exterior que exerce força sobre o rolo no ponto de entrada do material. Este rolo exterior é denominado, geralmente, por <i>Nip Roller</i> . O <i>Nip Roller</i> é capaz de conferir maiores durezas ao rolo final e alcançar tensões internas pretendidas. (Ren <i>et al.</i> , 2013)
<i>Surface Winder</i>	Funciona de forma idêntica ao <i>Center Winder with Rider Roller</i> . Contudo, o binário é aplicado ao <i>Rider Roller</i> ao contrário do <i>Center Winder</i> , em que a força é aplicada no núcleo do rolo. Assim, o material é apertado contra o núcleo possibilitando ao núcleo girar através das rotações do <i>Nip Roller</i> (Lee <i>et al.</i> , 2009). Uma vantagem deste sistema é permitir que a velocidade de rotação do <i>Nip Roller</i> seja constante, uma vez que é pretendido manter a velocidade da entrada do material no rolo.
<i>Diferential Torque Winder</i>	Sistema com funcionamento semelhante ao <i>Surface Winder</i> , e com o auxílio de um motor acoplado ao núcleo do rolo. Devido à aplicação simultânea do momento, o material a enrolar é tracionado tanto pelo núcleo do rolo como pelo <i>Nip Roller</i> . Este sistema é utilizado quando se tratam de materiais com baixos coeficientes de atrito (Good, 2005).
<i>Two Drum Winder</i>	Sistema com dois rolos com motores acoplados, em contacto com um rolo central. Os motores acoplados permitem que o material seja enrolado no rolo central (Carrasco e Valenzuela, 2006).
<i>Belted Winder</i>	Sistema utilizado em materiais que não podem ser sujeitos a elevadas forças de contacto por um <i>Nip Roller</i> . É utilizada uma cinta que entra em contacto com o rolo e, com o auxílio do binário no núcleo do enrolamento, é possível alcançar a dureza pretendida no rolo e com tensões internas controladas (Good, 2005).

A Figura 8 ilustra o supramencionado, complementando a informação. É possível verificar os esquemas básicos do princípio de funcionamento de cada um destes métodos de enrolamento.

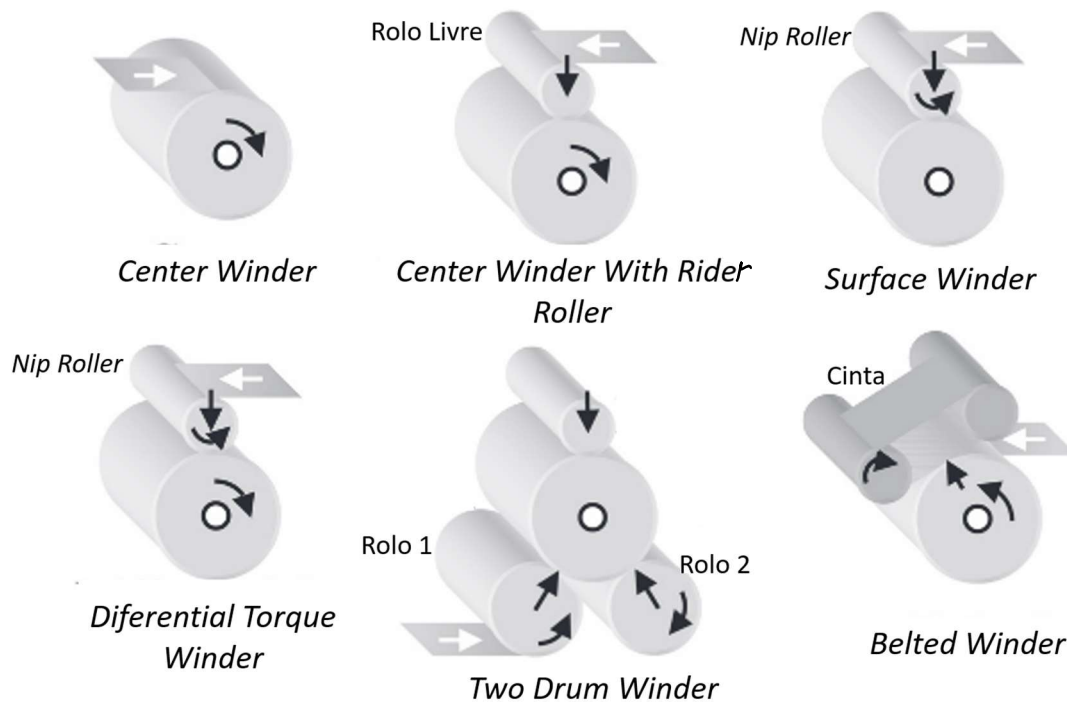


Figura 8 - Métodos de enrolamento (Good, 2005)

2.2.2 Tensões durante o enrolamento

Para garantir uma maior proximidade com as tensões internas ideais do rolo, é necessário efetuar um controlo das forças no material, com vista a um processo de enrolamento dentro dos padrões expectáveis (Pagilla *et al.*, 2003). Para este efeito existem alguns métodos conhecidos de controlo de forças, sendo abordados de seguida os dois métodos mais comuns: células de carga e balanceiros.

2.2.2.1 Células de Carga

Células de carga são equipamentos instalados ao longo da linha por onde o material processado passa, no qual, através do contacto com este material, medem a tua tensão. A tensão é medida com o seu deslocamento no eixo em que a célula é capaz de se movimentar. Para isto, é necessário haver rolos livres a jusante e a montante da célula, como é apresentado na Figura 9 (Fraden, 2010).

Uma vez definida a força pretendida no material, este é mais tracionado ou relaxado através, respetivamente, do aumento ou diminuição do binário do motor da estação de enrolamento, ou do travão que liberta o material. É de salientar que, a força desejada é atingida através de um equilíbrio entre o motor e o travão.

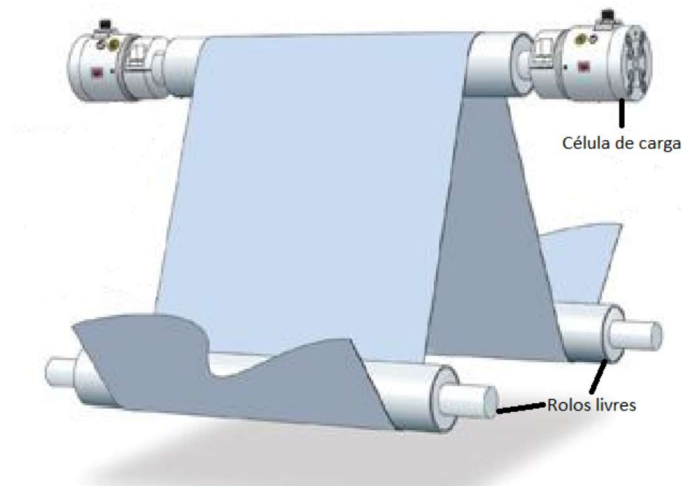


Figura 9 – Esquema de célula de carga (adaptado de *The Importance of Load Cells (Transducers)*, (2022))

2.2.2.2 Balanceiros

O balanceiro é um dispositivo de controlo de tensão que tem como principal objetivo atenuar picos de tensão na tela a enrolar, acumulando ou libertando material.

Adicionalmente, para além de ser capaz de controlar a tensão do material, pode também funcionar como um acumulador, permitindo assim que a velocidade de enrolamento seja estável (Kuribayashi e Nakajima, 1985).

2.2.3 Defeitos de enrolamento

Apesar de se constatarem inúmeras vantagens relativamente ao processo de enrolamento, comparativamente a outros processos de armazenamento de telas, existem, também, alguns defeitos comuns associados a este processo.

Estas deformações poderão surgir num caso em que apenas seja feita a transferência de um rolo para outro (*Roll-to-Roll*), ou num caso em que o material seja produzido e enrolado para ser armazenado.

De seguida, na Tabela 5, serão apresentados alguns dos defeitos mais frequentes no processo de enrolamento de materiais (Lee, 2018):

Tabela 5 - Resumo de defeitos de enrolamento

Defeito	Descrição	Exemplo
<i>Starring</i>	<p>Aparência exterior da lateral do rolo tipo estrela, tanto junto ao núcleo como por todo o rolo. Acontece quando a camada de material $n + 1$ comprime em demasia a camada n, ocorrendo assim uma tensão radial excessiva. De forma a reduzir este efeito, a indústria utiliza um método chamado <i>Taper Tension</i>, que consiste em reduzir a tensão ao longo do enrolamento tendo em conta o aumento de diâmetro do rolo, até um diâmetro final previamente estabelecido.</p>	
<i>Deslizamento entre camadas</i>	<p>Este defeito produz rugas no material na secção transversal do material, que podem ser de pequena ou grande dimensão, dependendo do ângulo de escorregamento da camada. Por vezes, apenas são visíveis a microscópio. Na indústria do papel utiliza-se uma técnica chamada <i>J-Line</i> para verificar a zona do rolo onde existe escorregamento e o seu grau (McDonald, 2014).</p>	

Figura 10 - Rolo *Liner* com o fenómeno *starring*Figura 11 - *Crepe Wrinkle* secção transversal da ruga (McDonald, 2014)

Telescoping

Consiste num deslizamento lateral progressivo ou repentino do material enrolado. Pode ocorrer apenas num sentido ou nos dois sentidos. Geralmente associa-se a desalinhamento de rolos da linha de produção/enrolamento, acoplamento deficiente do material ao núcleo ou deslizamentos entre camadas. Geralmente, a lateral do rolo tem um formato côncavo (Dehui *et al.*, 2014). O método *Taper Tension* também é utilizado para reduzir este fenómeno (Lee *et al.*, 2009).

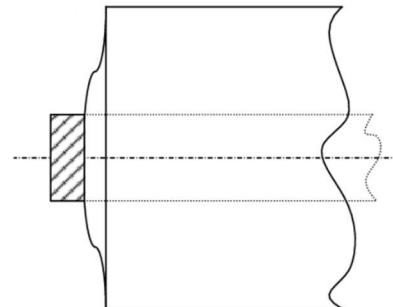


Figura 12 - Esquema de um rolo com fenómeno *Telescoping* (Dehui *et al.*, 2014)

Rugas na direção do enrolamento

Este tipo de rugas são na direção da entrada do material no rolo. Normalmente são causadas devido à falta de tensão no material. Ao entrar no rolo, uma zona do material menos tensionada que a restante secção do material, pode sobrepor-se sobre si própria, levando à formação de uma ruga paralela à lateral.



Figura 13 - Rugas na direção do enrolamento

Consoante a indústria, estes defeitos podem ser considerados mais, ou menos, impactantes. Em alguns casos, podem até ser ignorados uma vez que, não produzem, necessariamente, desperdícios.

Salienta-se que, nesta dissertação, serão abordados apenas os defeitos associados à direção do enrolamento e ao fenómeno de deslizamento, visto terem sido identificados como os principais problemas existentes no processo de enrolamento que geram, consequentemente, desperdício.

2.2.3.1 Deslizamento entre camadas

O deslizamento entre camadas consiste numa sobreposição de porções de material na secção transversal do material enrolado. Podem ser sobreposições de apenas milímetros, como de vários centímetros, dependendo do deslizamento existente na camada em causa.

Este defeito está diretamente ligado a problemas de compressão do material em cada camada, ao longo do enrolamento. A técnica *Nip* é utilizada para minimizar a escassez de compressão no material (McDonald e Menard, 1999).

De forma a quantificar o deslizamento de todo o rolo, foi desenvolvida uma técnica designada por *J-Line*. Esta técnica consiste em marcar um traço na face lateral de um rolo que, posteriormente, será desenrolado e enrolado novamente. Este traço inicialmente é reto, contudo, após o novo enrolamento, e quando ocorre deslizamento, adota o formato de um *J*. Na Figura 14, é apresentado um esquema deste método, no qual é possível observar as diferenças do traço antes do enrolamento (à esquerda) e após o enrolamento (à direita).

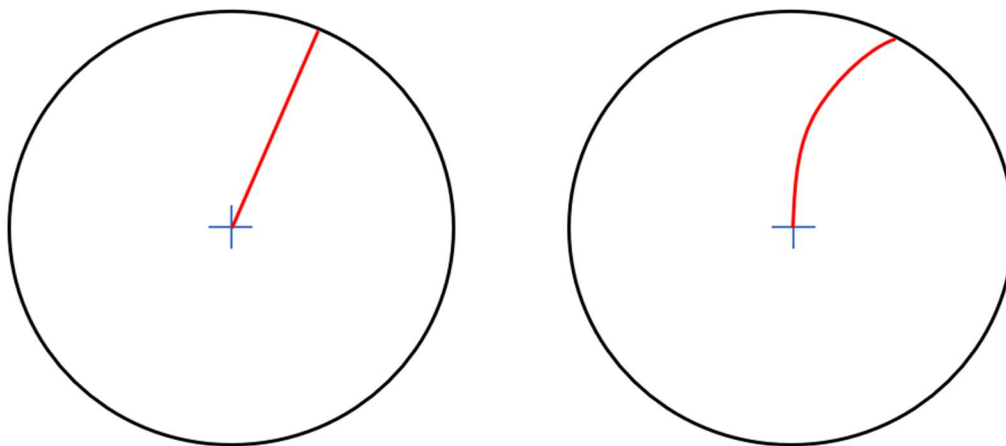


Figura 14 - Esquema *J-Line*

Este método é caracterizado por dois parâmetros, nomeadamente, R e C (Figura 15). R descreve o ponto do rolo onde se inicia o escorregamento e C o nível de escorregamento (McDonald e Menard, 1999).

O ponto de início permite identificar se o problema é apenas detetado a partir de um certo ponto, onde consequentemente se constata a necessidade de correção, ou se o problema é sentido em todo o enrolamento.

O nível de escorregamento pode auxiliar a compreender o grau de aumento da força de compressão necessária, isto é, se for um baixo deslocamento, é importante ser rigoroso em cálculos para estas forças, caso seja um grande deslocamento, poderão ser realizados testes com tensões mais elevadas no material, para que se chegue a um valor próximo do ideal, sem grandes dificuldades.

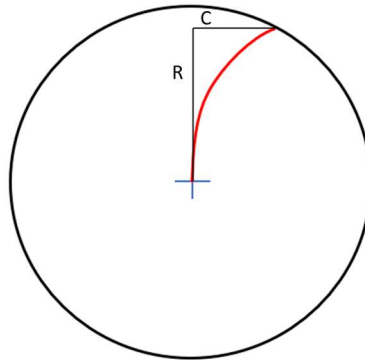


Figura 15 - Parametrização da J-Line

Num estudo realizado por McDonald e Menard (1999), foi determinado que a utilização de um núcleo de maior diâmetro, onde o material é acoplado, reduz a deformação da *J-Line* e, conseqüentemente, a quantidade de rugas.

Um estudo mais recente, também realizado por McDonald (2014), refere que, para não ocorrer escorregamento, é necessário que o momento aplicado ao rolo não exceda a capacidade de cada camada resistir ao momento aplicado externamente. A equação 1 resume esta exigência, onde T_{ap} corresponde ao binário aplicado e T_{cap} corresponde à capacidade de resistir ao momento.

$$T_{ap} < T_{cap} \quad (1)$$

O momento aplicado é um parâmetro da máquina, ou seja, é atribuído através da programação da máquina ou pode ser identificado avaliando as configurações da máquina.

A capacidade de momento é dada pela equação 2, onde temos w como largura da tela, μ como coeficiente de atrito, σ_r como tensão radial e R como raio do rolo para cada ponto.

$$T_{cap} = 2\pi w \mu \sigma_r R^2 \quad (2)$$

No caso da tensão aplicada ao material ter oscilações, como é normal no processo, pontos adjacentes podem ter capacidades de momento totalmente diferentes e, a própria diferença, ser propícia à ocorrência de escorregamento.

O valor do coeficiente de atrito é muitas vezes desconhecido, no entanto, também poderá ser, um ponto essencial para a resistência ao binário exterior.

Sendo um valor desconhecido, é importante analisá-lo, podendo ser efetuado com o apoio da norma ASTM D1894 (American Society for Testing and Materials, 2016). Todavia, é de ressaltar que, a norma não tem necessidade de ser aplicada na sua totalidade, uma vez que, de material para material, a massa do bloco de teste pode não ser suficiente e a própria velocidade de movimento do tensômetro não ser ideal.

Os valores mais comuns de coeficiente de atrito para materiais encontram-se entre 0,3 e 0,6. No caso de o valor de coeficiente de atrito ser igual a 0, é considerada a inexistência de alguma forma de atrito.

De seguida, é apresentado na equação 3, uma forma possível de se obter o coeficiente de atrito. No caso do resultado ser superior a 1, como se verifica no caso da borracha, em que o coeficiente de atrito pode ser 2 ou superior, constata-se que para existir movimento, é necessário aplicar uma força superior à normal (Malyshev, 2014).

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (3)$$

Existe uma lacuna na literatura acerca deste defeito no caso de enrolamento de dois materiais distintos, um sobre o outro, simultaneamente.

2.2.3.2 *Rugas direção de enrolamento*

As rugas na direção do enrolamento estão relacionadas com a falta de tensão de uma secção do material à entrada do rolo. Devido a uma porção do material se encontrar praticamente solta, é possível observar este defeito antes do desenrolamento. Similarmente, pode ser denominado de “efeito bandeira”, em consequência da vibração significativa, podendo originar rugas de elevada dimensão.



Figura 16 - Ruga direção do enrolamento

O fenómeno pode ser detetado, em qualquer zona, em vários pontos, à largura do rolo. Quanto maior for o comprimento de material enrolado, maior é a probabilidade de ocorrência deste tipo de rugas, visto que os defeitos no material se acumulam. Caso o efeito se prolongue até ao final do enrolamento o número de ocorrências num rolo será, conseqüentemente, maior.

O desalinhamento de rolos pode levar à ocorrência de secções de material com tensão inferior ao restante. Neste caso específico, a ocorrência tem tendência a surgir de uma forma constante, isto é, em praticamente todos os rolos produzidos, na mesma zona (Good *et al.*, 2009). Em núcleos que apresentem uma superfície lateral cónica e não cilíndrica, também existe uma tendência a puxar o material para o lado do núcleo com maior diâmetro e, conseqüentemente, deixar de tracionar uma secção (Good *et al.*, 2009).

Quando uma secção do material a enrolar apresenta uma menor espessura que o restante, está propício a ganhar folga devido às diferentes propriedades do material que resultam das diferenças na secção transversal. A folga mencionada, traduz-se numa vibração da tela que, por sua vez, à entrada do rolo, o material acaba por se sobrepor causando rugas impossíveis de reverter (Yu *et al.*, 2007).

2.3 Lean

Foi em 1955, no final da Segunda Guerra Mundial, que Taichii Ohno e Shigeo Shingo formalizaram o início da criação de um novo sistema de produção para a Toyota, o *Toyota Production System* (TPS).

O TPS agregou um conjunto de conceitos religiosos e filosóficos, provenientes do continente asiático, que funcionaram como princípios basilares para os autores.

Durante anos, a ser aplicada na indústria japonesa, era considerada uma mais-valia notória a nível global.

Em meados de 1970, a indústria americana começou, também, a aplicar o sistema TPS, tendo levado James Womack a apelidar o mesmo de *Lean Manufacturing*, num livro sobre o sistema. Conseqüentemente, o termo passou a ser utilizado com maior frequência, tendo sido adotado, globalmente, o termo *Lean*, criado por Womack.

2.3.1 Introdução

Na Tabela 6, serão apresentados alguns trabalhos onde os autores recorreram à implementação de metodologias *Lean* e ferramentas como *Value Stream Mapping* (VSM), 5S e análise de Pareto com o objetivo de reduzir desperdícios e melhorar processos.

Tabela 6 - Resumo de trabalhos com aplicações *Lean*

Autores	Descrição do trabalho
Sirajudeen e Aravind Krishnan (2022)	Empresa indiana do setor da construção civil, aplicou a metodologia <i>Lean</i> com o objetivo de reduzir o tempo de processamento de componentes pré-fabricados e aumentar a produção. Foram identificados desperdícios e implementadas melhorias, tendo sido possível reduzir o <i>lead time</i> de 1102 minutos para 739 minutos e, a produção diária passou de 33 para 40 unidades diárias.
Neves <i>et al.</i> (2018)	Empresa portuguesa do setor têxtil utilizou ferramentas <i>Lean</i> com vista à identificação de problemas no processo de produção e proceder às respetivas melhorias. Verificou-se uma diminuição do tempo gasto semanalmente, por cada trabalhador, em 4 horas, ou seja, 10% do tempo de trabalho foi reduzido por cada trabalhador envolvido.
Gupta <i>et al.</i> (2018)	Laboratório hospitalar de hematologia e de bioquímica aplicou ferramentas <i>Lean</i> , como VSM e Análise de Pareto, com o intuito de reduzir o tempo de resolução de processos. Constatou-se que diversas atividades não acrescentavam valor aos processos, tendo sido possível encurtar o tempo de resolução de cada processo, em média, no laboratório de hematologia de 268 para 208 minutos e, no de bioquímica, de 180 para 95 minutos.
Viteri Moya <i>et al.</i> (2016)	Empresa do setor alimentar, situada no Equador, ao serem aplicadas ferramentas <i>Lean</i> , como VSM e 5S, foram investidos 5400 dólares que resultaram num lucro de 9200 dólares (0,70 dólares por cada dólar investido.) Na prática, verificou-se uma redução de 24 minutos no tempo total de ciclo.
Nallusamy e Adil Ahamed (2017)	Empresa indiana do setor automóvel pretendia reduzir os tempos de ciclo para minimizar desperdícios. Utilizando ferramentas <i>Lean</i> , verificou-

	se uma possibilidade de redução de tempo de ciclo de 13% (que corresponde ao tempo que não gera valor ao produto) e uma potencial melhoria de cerca de 10% na eficiência do processo.
Santos <i>et al.</i> (2018)	Empresa portuguesa do setor automóvel, através da implementação da metodologia <i>Lean</i> e recorrendo a ferramentas como 5S, foi possível reduzir o tempo de paragem por avaria, da máquina em análise, em 62% e desta forma aumentar a sua <i>performance</i> em 9%.
Monteiro <i>et al.</i> (2019)	Empresa portuguesa, da indústria metalúrgica, identificou uma necessidade de melhoria em várias áreas. Com recurso à metodologia <i>Lean</i> e auxiliada por ferramentas como VSM e SMED, o tempo de preparação de uma máquina foi reduzido em 40% e de uma outra máquina em 57%.
Ribeiro <i>et al.</i> (2019)	Empresa portuguesa do setor automóvel, procurou, através da implementação da metodologia <i>Lean</i> em dois dos seus produtos, reduzir tempos de ciclo e aumento da produção, destes mesmos produtos. Com a utilização de ferramentas 5S, SMED e trabalho normalizado atingiu o objetivo e reduziu tempos de transporte em 70%, aumentou o índice OEE em 18% do processo de injeção de plástico, 16% no processo de pintura de um dos produtos e 17% do outro produto analisado.

(Como é possível verificar na tabela anteriormente apresentada, o *Lean Thinking* pode ser aplicado em diversas indústrias, por todo o mundo. Apresenta inúmeras vantagens tais como, o baixo custo de implementação, a redução de tempo de ciclo, o *turnover time*, a melhoria da eficiência e, o aumento da qualidade.

2.3.2 Ferramentas

De forma a aplicar corretamente a metodologia *Lean* nas empresas, é essencial complementar a sua aplicação com a devida utilização de técnicas e ferramentas que lhe estão associadas (Cudney *et al.*, 2011).

Algumas destas técnicas são as seguintes (Dailey, 2003):

- 5S;
- *Value Stream Mapping*;

- Trabalho normalizado;
- Ajudas visuais;
- *Kanban*;
- *Kaizen*.

A “Casa *Lean*” é um esquema sucinto que permite adaptar a metodologia *Lean* a uma organização, mediante as suas necessidades. Representa uma sequência que deve ser seguida para alcançar o objetivo final, isto é, a base da casa define os aspetos que devem ser consolidados, permitindo avançar, no esquema, para os pilares, e assim sucessivamente, até que seja alcançado o telhado – objetivo final (Figura 17).

Este esquema permite facilitar a compreensão do modo de implementação da metodologia por parte de todos os intervenientes.

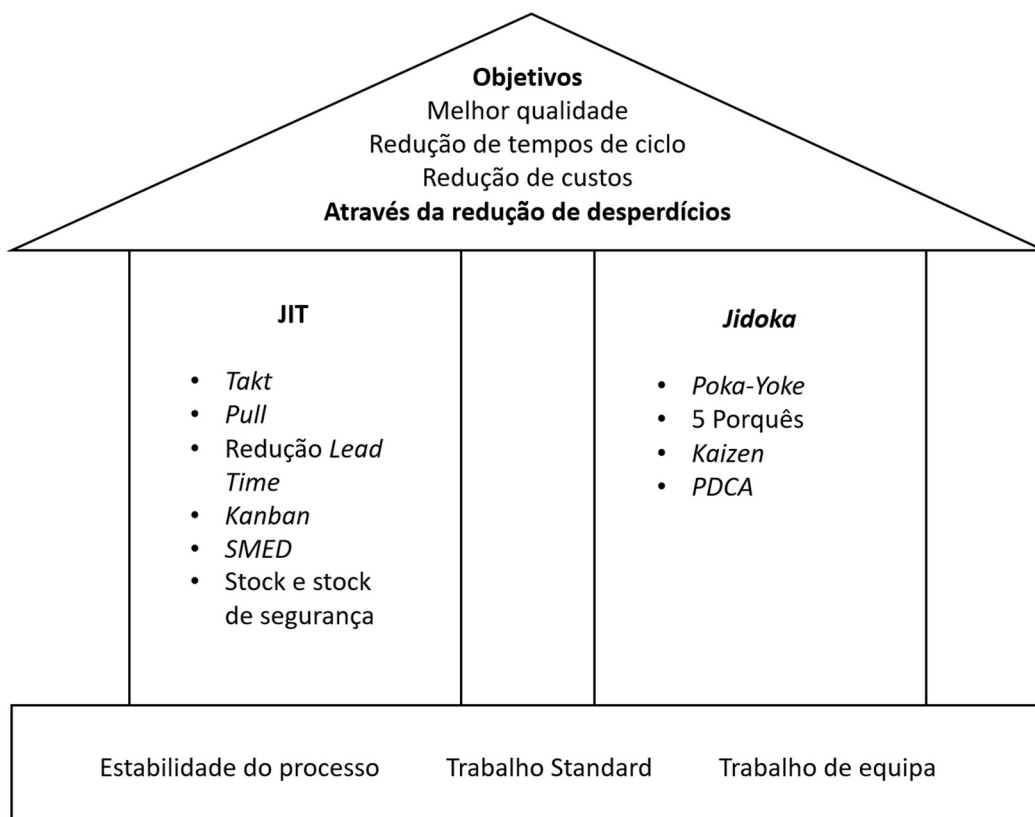


Figura 17 - Casa *Lean*. Adaptado de Wilson (2010)

2.4 Six Sigma

Com o objetivo de quantificar e reduzir defeitos, por forma a melhorar a qualidade geral do produto, na década de 1980, Bill Smith desenvolveu a teoria Seis Sigma, na Motorola. Com um investimento de 170 milhões de dólares em formação dos colaboradores, a empresa conseguiu reduzir custos em 2,2 biliões de dólares (Antony, 2006). A Motorola baseou o desenvolvimento da teoria dos Seis Sigma, em teorias rigorosas japonesas do

Total Quality Management, que eram possíveis de aplicar no processo de manufatura (Henderson e Evans, 2000).

2.4.1 Introdução

Na Tabela 7, é possível observar alguns exemplos de trabalhos, a escalas mais reduzidas, onde foi aplicada a metodologia Seis Sigma.

Tabela 7 - Resumo de trabalho com aplicações Seis Sigma

Autor	Descrição do trabalho
Costa <i>et al.</i> (2017)	Empresa portuguesa da indústria dos pneus tinha como objetivo reduzir a quantidade de material que necessitava de retrabalho e assim reduzir desperdícios. Ao utilizar o ciclo DMAIC foi possível reduzir o indicador de material para retrabalho em 0,89%, o que corresponde a uma poupança monetária de 165 mil euros.
Kumar <i>et al.</i> (2007)	Empresa do setor automóvel aplicou a estratégia DMAIC, (pertencente ao Seis Sigma) de forma a identificar problemas no processo de fundição da empresa e controlar os parâmetros do mesmo. Para além da estratégia DMAIC, foram utilizadas também ferramentas como diagrama de Pareto, diagrama Causa-Efeito e Cartas de Controlo. Verificou-se um aumento do índice de capacidade do processo de 0,49 para 1,28, e uma redução de defeitos por unidade produzida de 0,194 para 0,029. Estas melhorias traduziram-se numa poupança de 213 728 €.
Kaushik <i>et al.</i> (2012)	Na Índia, uma PME (pequena e média empresa) do setor automóvel implementou a metodologia Seis Sigma com vista ao controlo da quantidade de componentes rejeitados em controlo de qualidade. Foram aplicadas ferramentas como DMAIC, diagrama SIPOC, diagrama Causa-Efeito e Índices de Capacidade de Processo. Constatou-se um aumento do valor de sigma de 1,40 para 5,46 que, em termos monetários, se traduziu numa poupança de 288 000 rupias indianas, isto é, 3526 euros (conversão de moeda feita à data de realização desta dissertação).

Costa et al. (2019)

Este trabalho foi desenvolvido numa empresa do setor automóvel portuguesa, onde são fabricados PCB's para automóveis. A taxa de rejeição do componente devido à má inserção de pinos na placa foi alvo de uma estratégia Seis Sigma que fez uso da Metodologia DMAIC. O valor de sigma foi aumentado de 4,22 para 4,92 e assim houve uma redução de custos associados à rejeição do componente de 122 000 euros.

Ahmed et al. (2018)

Numa empresa produtora de eletrodomésticos do Egipto, através da aplicação da metodologia DMAIC e análises estatísticas, foi observado que a temperatura do forno para fusão do metal utilizado em componentes, tinha impacto na quantidade de defeitos. Com a otimização desta temperatura foi possível reduzir a taxa de rejeição de 10,49% para 6,1%, o que levou a um incremento do valor de sigma de 2,8 para 3,06.

Como é possível verificar no quadro acima, a implementação desta metodologia sistemática de melhoria, é possível gerar grandes retornos através da redução de desperdícios. Estes retornos denotam-se tanto diretamente em poupanças monetárias relacionadas com menores quantidades de material rejeitado, como com tempos de processo que acabam por ser encurtados com a sua melhoria, como também, com a sua normalização. Também a melhoria de qualidade de produtos é notável e isso pode gerar um crescimento não esperado das empresas.

Para que se implemente corretamente a metodologia Seis Sigma, é importante que os intervenientes sejam devidamente formados. Esta formação consiste em cinco diferentes níveis. Cada interveniente na implementação deve ser formado com o grau mais adequado à sua função. Os graus são os seguintes, por ordem ascendente de nível:

- *White Belt* – Introdução ao Seis Sigma, princípios básicos da metodologia;
- *Yellow Belt* – Aprofundamento do grau *White Belt*;
- *Green Belt* – Preparação do formando para integração nas melhorias do processo;
- *Black Belt* – Gerir e liderar equipas de trabalho focadas na implementação Seis Sigma;
- *Master Belt* – Grau que permite ao interveniente dar formação aos elementos com graus anteriores, de metodologia Seis Sigma

2.4.2 Métodos e ferramentas

A abordagem Seis Sigma apresenta, essencialmente, dois métodos: DMAIC e DAMDV. DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improvement, Control*) consiste num método para análise e melhoria de processos já existentes, enquanto que, a metodologia DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*) aplica-se a novos processos ou produtos (Selvi e Majumdar, 2014).

2.4.2.1 Métodos

O foco na presente dissertação prende-se com um processo já existente. Neste sentido, optou-se por aprofundar o ciclo DMAIC.

DMAIC constitui uma metodologia de cinco etapas, que seguidamente se descrevem:

- *Define* – Definir;
- *Measure* – Medir;
- *Analyze* – Analisar;
- *Improve* – Melhorar;
- *Control* – Controlar.

Esta metodologia corresponde a um ciclo de melhoria contínua como apresentado na Figura 18.

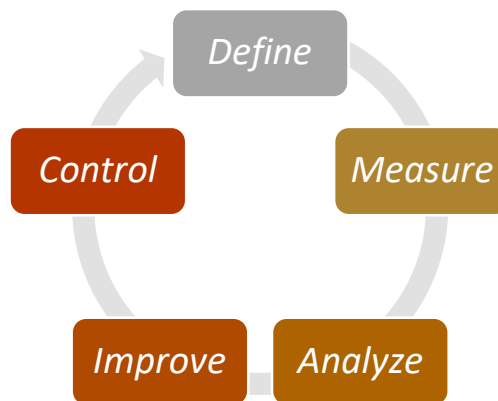


Figura 18 - Ciclo DMAIC. Adaptado de Costello e Molloy (2008)

Fase *Define*:

Nesta fase inicial, a equipa de trabalho define o plano base do projeto. São explanadas informações básicas sobre a temática, tais como, definição de objetivos com a implementação da metodologia Seis Sigma, identificação dos intervenientes e respetivas funções e, principalmente, é identificada a problemática (The Council for Six Sigma Certification, 2018). Deverão ser definidos os líderes de projeto e de equipas que seja possível subdividir dentro da equipa global Seis Sigma. É de ressaltar, e tal como, mencionado anteriormente, que é importante que os intervenientes possuam a devida formação.

Diagramas SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers*) são, também, usados nesta fase, por forma a facilitar o conhecimento da equipa sobre o processo a analisar. É igualmente importante identificar os *Stakeholders* do projeto. Pode definir-se *Stakeholders* como todos aqueles que detêm influência direta ou indireta neste projeto.

Fase *Measure*:

Após estar definido qual o processo a analisar, problema existente e o objetivo a alcançar, a fase de medição inicia-se.

Esta fase consiste na definição e escolha das métricas que irão permitir uma análise estruturada do desempenho do processo. Posteriormente, um plano para a recolha de dados deverá ser definido, assim como, a averiguação da veracidade dos dados ser confirmada.

De seguida, procede-se para a recolha dos dados consoante o plano previamente definido que, conseqüentemente, permite obter um conhecimento geral do estado do processo na fase inicial.

Fase *Analyze*:

Fase onde são analisados os dados existentes, permitindo identificar potenciais causas raiz dos problemas. Mediante o contexto, esta fase poderá estar agrupada com a fase anterior (fase de medição) uma vez que, existe uma possibilidade de ser necessário recolher informação adicional, após o início da análise de dados, e/ou até mesmo ajustar o método de recolha de dados (Selvi e Majumdar, 2014).

Uma prática recorrente na fase de análise é a utilização do *brainstorming* nas reuniões, que tem como finalidade a criação de diagramas de Causa Efeito para analisar as causas dos problemas definidos anteriormente. Estes diagramas permitem priorizar trabalhos e definir as principais ideias que poderão ser aplicadas.

Fase *Improve*:

Considerando as causas previamente definidas e estabelecendo o modo de implementação das propostas de melhoria selecionadas, são iniciados os primeiros testes piloto, por forma a verificar o impacto da nova estratégia. No caso do teste resultar num impacto negativo, a hipótese deverá ser eliminada e avançar para a próxima sugestão de melhoria.

Quando a realização dos testes piloto, resulta num resultado positivo, a estratégia deverá ser implementada e proceder à fase de controlo.

Fase *Control*:

Concretizada a implementação, é iniciada a fase de controlo. O plano passará a ser monitorizado e a sua evolução é analisada. Salienta-se que, os novos procedimentos devem ser registados e documentados. Esta fase apresenta, também, como objetivo garantir a continuidade da melhoria implementada (De Mast e Lokkerbol, 2012).

2.4.2.2 Ferramentas

No decorrer da apresentação das fases, foram apresentadas as diversas ferramentas Seis Sigma, que são frequentemente utilizadas. Sendo algumas delas:

SIPOC, é o acrónimo para *Suppliers, Inputs, Process, Outputs* e *Customers*. Uma ferramenta visual que ajuda os intervenientes do projeto a visualizar, rapidamente, os cinco elementos descritos por cada letra do acrónimo (Brown, 2019).

Suppliers, corresponde a fornecedores do processo, ou seja, todos aqueles que irão fornecer entradas para o processo. *Inputs*, corresponde às entradas do processo, entradas necessárias para o desenvolvimento do projeto e podem ser entradas como recursos, materiais ou dados. Na Figura 19, é apresentada uma representação do diagrama.

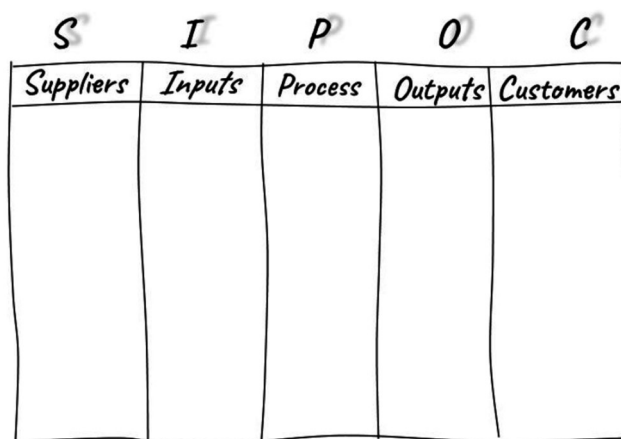


Figura 19 - Diagrama SIPOC (Brown, 2019)

O Diagrama Causa Efeito é conhecido, também, como diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe. É um esquema visual que permite organizar as ideias com vista a identificar as causas raiz do problema trabalhado. Geralmente é dividido em seis ramificações: Máquina, Material, Pessoas, Processo, Medições e Ambiente. Em determinadas situações, o diagrama é criado em reuniões de *Brainstorming* para ajudar na organização das ideias do grupo (Rodgers e Oppenheim, 2019).

Na Figura 20, é apresentado o esquema desenvolvido num projeto no qual não foi definida nenhuma causa para a ramificação Medições (Varzakas, 2015).

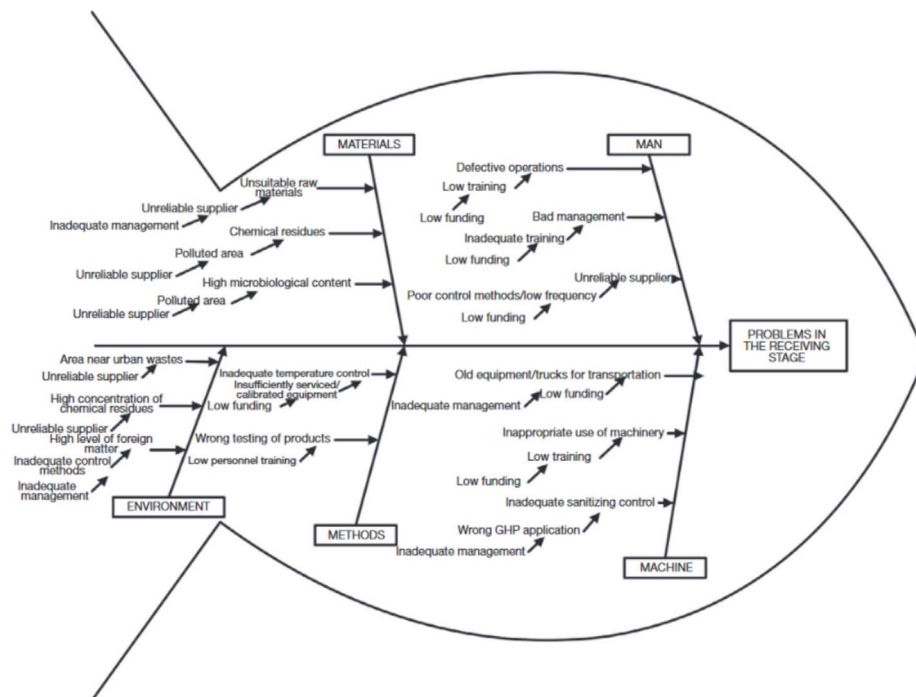


Figura 20 - Diagrama Causa Efeito (Varzakas, 2015)

Brainstorming, é uma atividade de grupo para estimular a criatividade da equipa (Bonnardel e Didier, 2020). Tem como principal objetivo apresentar ideias para potenciais causas do problema, soluções ou outros problemas. O foco desta atividade passa por apresentar e registar somente as ideias, sem as discutir. Esta dinâmica de grupo conduz a um maior número de ideias e sugestões apresentadas.

5W1H, é um plano de ação constituído por seis questões que procuram orientar todos os intervenientes na implementação de um projeto. Reúne todos os factos necessários para a compreensão objetiva do trabalho a desenvolver (Benaddi *et al.*, 2021). Pode ser apresentado num esquema visual de modo a ser consultado de forma rápida sempre que necessário:

- *What?* – Descreve o que será feito;
- *How?* – Explica como será feito;
- *Why?* – Justifica o motivo da implementação;
- *Where?* – Apresenta o local de execução do projeto;
- *When?* – Define o momento de execução;
- *Who?* – Indica o responsável e executantes do projeto.

DESENVOLVIMENTO

3.1 Apresentação da empresa e processo produtivo da tela
têxtil

3.2 Aplicação DMAIC

3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo tem como objetivos apresentar a empresa de acolhimento para desenvolvimento desta dissertação, descrever o processo de fabricação da tela têxtil, apresentar o problema verificado num dos subprocessos da tela têxtil (processo de enrolamento) e aplicar a metodologia DMAIC, referida no capítulo anterior, de forma a reduzir os desperdícios existentes.

3.1 Apresentação da empresa e processo produtivo da tela têxtil

3.1.1 Continental AG

Em 1871, a empresa Continental, foi fundada em Hannover, cidade da Alemanha. Numa primeira fase, a produção desta empresa baseava-se, sobretudo, em produtos de borracha e pneus para bicicletas maciços.

No início do século XX, a Continental, decide evoluir e inicia o desenvolvimento e produção de pneus para automóveis, com piso otimizado para as diversas condições atmosféricas (como é atualmente conhecido o pneu - pneus com piso). Em 1904, desenvolveram a jante desmontável que permitiu economizar tempo e trabalho na substituição dos pneus, em automóveis ligeiros.

Anos após a Segunda Guerra Mundial, mais concretamente em 1960, a Continental inicia a produção em massa de pneus radiais para automóveis ligeiros. A partir desse ano, a empresa iniciou o seu percurso na expansão mundial, tendo adquirido outras construtoras de pneus tanto pela Europa, como pelos Estados Unidos da América. Já próximo do início do século XXI, a presença de fábricas da Continental estava disseminada por vários continentes.

Em 2007, com a aquisição da Siemens VDO Automotive AG, a Continental passou a uma das cinco maiores potências mundiais no desenvolvimento e produção de pneus. O sucesso da Continental AG é inegável. Com uma história de mais de 150 anos, atualmente é uma das maiores produtoras de pneus e outros componentes automóvel com uma forte presença no quotidiano de uma grande parte da população mundial. A Continental AG, apenas em Portugal, é detentora de várias empresas: Continental Mabor (produtora de pneus automóveis e agrícolas), Continental Pneus Portugal S.A. (comercialização de produtos Continental), Indústria Têxtil do Ave S.A. (produtora de componentes têxtil para fabrico de pneus) e Continental Advanced Antenna (produtora de antenas para automóveis).

3.1.2 Continental Mabor

A Mabor, pioneira na produção de pneus em Portugal, iniciou o seu trabalho em 1946, tendo sido, durante vários anos, a única em Portugal a produzir pneus. Em 1989, a fusão entre Mabor e Continental AG teve início, tendo existido uma reestruturação em 1990, aumentando as instalações de uma forma significativa, assim como a capacidade de produção da empresa. Em 1993, a Continental AG adquiriu a totalidade da Mabor, sendo que ainda hoje o nome Mabor se encontra presente no seu nome oficial: Continental Mabor – Indústria de Pneus S.A..

Na Figura 21, é exibido um resumo referente à empresa Continental Mabor e ao Grupo Continental AG.

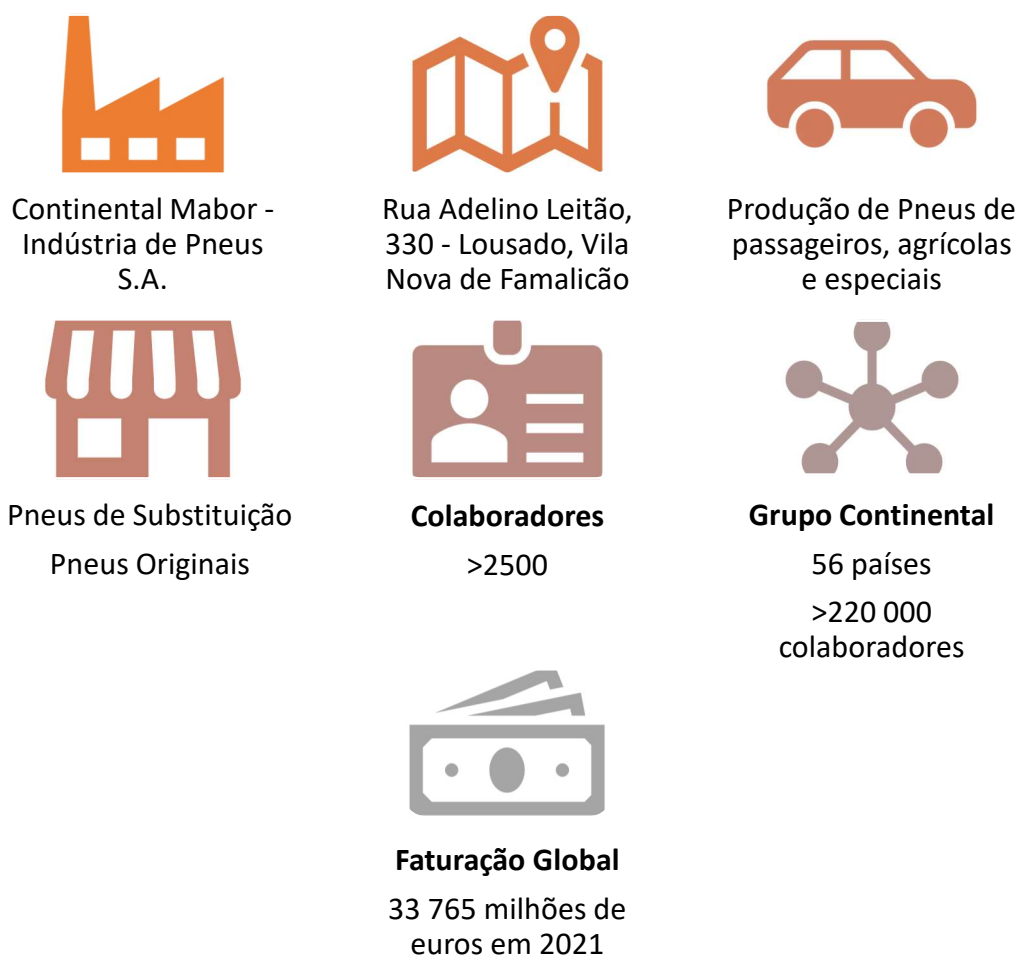


Figura 21 - Resumo Continental Mabor e Grupo Continental AG

3.1.3 Caracterização do processo de produção de tela têxtil

Tal como referido anteriormente, o processo a analisar pertence à produção de tela têxtil, um dos principais componentes do pneu. Após a fase de construção de pneu, a tela têxtil irá dar origem à carcaça do pneu.

Produzida em contínuo, posteriormente é armazenada em rolos com largura constante de e comprimento variável entre os 420 metros e os 540 metros, mediante o tipo de material.

É de salientar que, a tela têxtil corresponde a borracha impregnada em cordas têxteis, ou seja, tanto as cordas, como a borracha, podem variar no material e na composição. As cordas utilizadas poderão ser de Poliéster, *Nylon* ou *Rayon*, enquanto a borracha utilizada depende do produto final pretendido.

Cada material produzido tem uma terminologia específica e resulta da mistura de vários compostos de borracha, com um tipo específico de cordas.

Este processo é executado pelas calandras sendo que, na Continental Mabor existem duas destas máquinas. Destaca-se que, a zona de calandragem corresponde, apenas, a uma das partes do processo de produção de tela têxtil (Figura 22).

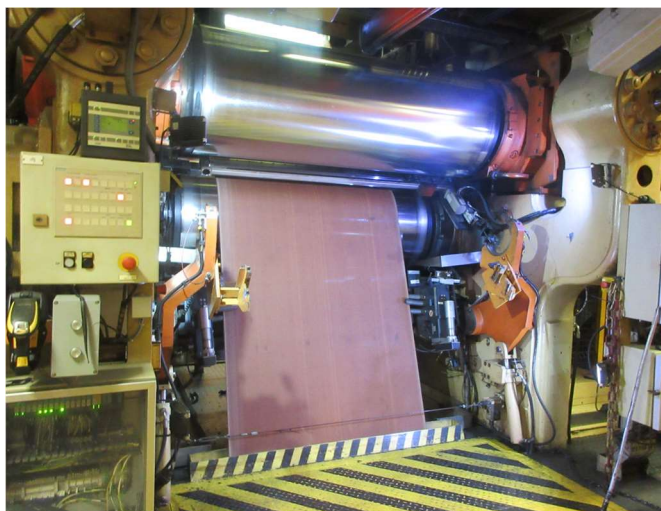


Figura 22 - Zona de Calandragem

Para que o processo de calandragem se inicie, é necessário, primeiramente, alimentar os moinhos de borracha (Figura 23) com os compostos adequados, e alimentar a zona de *LetOff* (Figura 24) com o rolo de cordas.



Figura 23 - Moinho da calandra 2



Figura 24 - Estações de *LetOff* de material em verde

Adicionalmente, importa referir que estes rolos de cordas são adquiridos a fornecedores externos, enquanto os compostos de borracha são produzidos internamente (Figura 25).



Figura 25 - Rolo de tecido em verde colocado numa estação de *LetOff*

Após a devida alimentação de material ocorrer, o processo de calandragem é iniciado, no qual, a borracha é impregnada nas cordas, resultando no produto final - longa tela de borracha.

Numa última fase da linha de produção, e de forma à tela ser armazenada, é executado o enrolamento do material nas estações de enrolamento ou *Wind-Up*. Cada máquina é constituída por duas estações de enrolamento, para garantir que não ocorrem paragens no processo, nem que seja necessário alterar velocidades de calandragem.

Nesta fase, o material é enrolado em torno de um núcleo denominado de Caneleira, juntamente com um tecido de Poliéster (intitulado de *Liner*), para evitar que a borracha não cole nela própria, tal como é possível visualizar na Figura 26. Importa referir que, a tela preta corresponde ao material calandrado e o tecido branco ao *Liner*.



Figura 26 - Estação de enrolamento

Ao longo da máquina existem pontos de acumulação de material, que tanto poderão corresponder a material calandrado como a material em verde (tecido de cordas antes de ser calandrado com a borracha). Estes pontos são designados de acumuladores e permitem a troca de rolo de tecido em verde e de estação de enrolamento, sem que existam paragens da máquina.

De seguida, na Figura 27, é apresentado um esquema de uma calandra genérica.

A vermelho está representada a linha de fluxo do material calandrado e a verde, o tecido de cordas: o ponto 1 corresponde à zona de calandragem, o acumulador de material em verde está identificado no ponto 2, o ponto 3 constitui o acumulador de material calandrado, o ponto 4 revela a zona de *LetOff* de material em verde e, por último, no ponto 5, encontra-se a zona das estações de enrolamento.

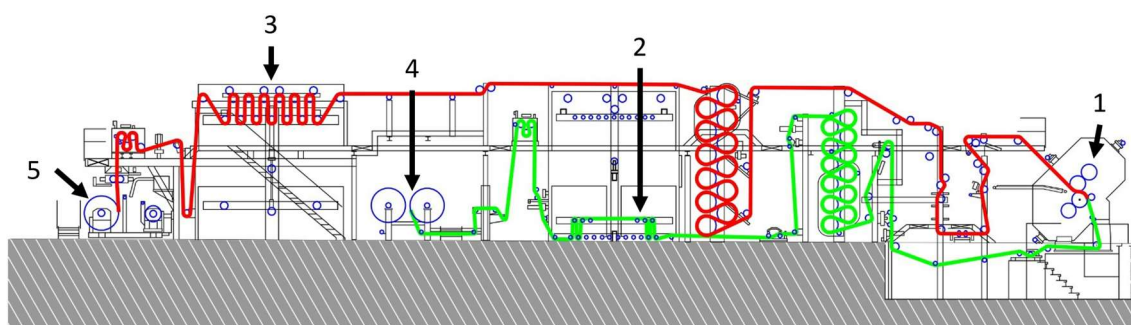


Figura 27 - Esquema da Calandra 1

No decorrer de toda a linha de produção, o material poderá ser aquecido e/ou arrefecido. Simultaneamente, poderá ser necessário picar e/ou escovar, para conferir ao produto final todas as propriedades pretendidas. Após ser concluído o enrolamento do material, é importante proceder à sua identificação. Neste sentido, é atribuído ao rolo finalizado uma etiqueta, com o número de lote, data de produção, validade, quantidade (em metros) de material calandrado no rolo, o tipo de material, um código de barras e outras potenciais informações sobre o material.

Importa referir que, ao longo da linha de passagem do material, existem células de carga com vista ao controlo das tensões impostas ao material.

De seguida, os rolos finalizados são transportados para locais próprios de armazenamento para, posteriormente, serem cortados nas medidas pretendidas para cada pneu. Os rolos podem ser armazenados em *Racks* (quando há necessidade de corte a curto prazo), ou no armazém automático, intitulado de *Paternoster*.

A etapa subsequente corresponde ao Corte. Nesta fase, é aplicada uma estratégia de utilização do material, designada de FIFO (*First in First Out*), sendo que apenas é praticado dentro de cada especificação de material, uma vez que a tela têxtil apresenta uma data-limite para utilização.

3.2 Aplicação DMAIC

O presente capítulo pretende descrever o processo de abordagem DMAIC ao problema existente na fase de enrolamento no processo de calandragem do material.

3.2.1 Define – Definir

Nesta primeira fase, tal como referido anteriormente, é fundamental estabelecer uma base de informação adequada sobre a problemática.

Assim, esta fase de trabalho, iniciou com a análise dos dados recolhidos em 2021, referente a desperdícios, isto é, defeitos de rugas nos materiais. Os valores apresentados revelaram-se preocupantes, considerando que, três tipos de rugas já tinham sido diagnosticados.

Foi constatado que as rugas apresentadas poderiam resultar quer de um deslizamento entre camadas, quer de rugas nos extremos (periódicas e na direção do enrolamento do material), quer de rugas no início e/ou fim de rolo.

A título de exemplo, na Tabela 8, serão apresentadas representações de cada tipo de ruga. Importa referir que as imagens que se seguem, são meramente exemplares uma vez que, o mesmo tipo de rugas pode ser em maior ou menor escala em termos de desperdício. Adicionalmente, salienta-se que este desperdício é medido em quilogramas.

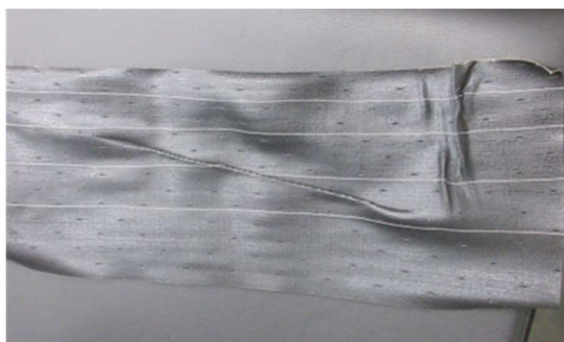
Tabela 8 - Tipos de Rugas

Tipo de ruga	Imagem exemplo
Deslizamento entre camadas	

Início ou fim de rolo



Extremos



Nesta fase da aplicação DMAIC, também são definidos os objetivos de trabalho. Neste sentido, como suporte à identificação da finalidade, foi utilizada a ferramenta 5W1H (Tabela 9):

Tabela 9 - Ferramenta 5W1H

Questão	Resposta
<i>What?</i>	Reduzir o desperdício diário de rugas para valores inferiores a 40 kg
<i>How?</i>	Implementação da metodologia DMAIC
<i>Why?</i>	Reduzir desperdícios em termos de material sucata, bem como, minimizar os tempos de paragem das máquinas de processo seguintes associado a este desperdício
<i>Where?</i>	Nas duas Calandras, nas estações de enrolamento e nas máquinas de corte têxtil e desenrolamento
<i>When?</i>	Período de fevereiro de 2022 até final de agosto de 2022
<i>Who?</i>	Equipa de trabalho da Direção de Engenharia e Processo (D.E.P.)

Neste sentido, ficou estabelecido que, durante o período de fevereiro de 2022 até agosto de 2022, através da implementação da metodologia DMAIC, a equipa de trabalho do D.E.P., tem por objetivo reduzir a quantidade de desperdício diária para valores inferiores a 40kg, debruçando, essencialmente, a sua área de atuação nas estações de enrolamento das Calandras, podendo existir uma eventual necessidade de intervir sobre as máquinas de corte têxtil e desenrolamento.

É esperado que esta diminuição de desperdício venha a reduzir o custo associado ao material desaproveitado, assim como reduzir as paragens não planeadas das máquinas de corte têxtil.

Com a missão do projeto estruturada, é iniciada a fase de observação e respetiva análise do processo de enrolamento.

Esta fase, visto que constitui apenas uma das etapas da manufatura de um pneu, é considerado, de forma genérica, um processo simples. A sua complexidade deve-se ao facto de a calandragem ser uma operação contínua executada a altas velocidades (entre 30 e 55 metros por minuto).

De seguida, encontra-se representado o fluxograma do processo de apenas um rolo no seu estado final. É de salientar que, em condições normais de trabalho, este processo é contínuo e no qual ocorrem múltiplas ações em simultâneo (Figura 28).

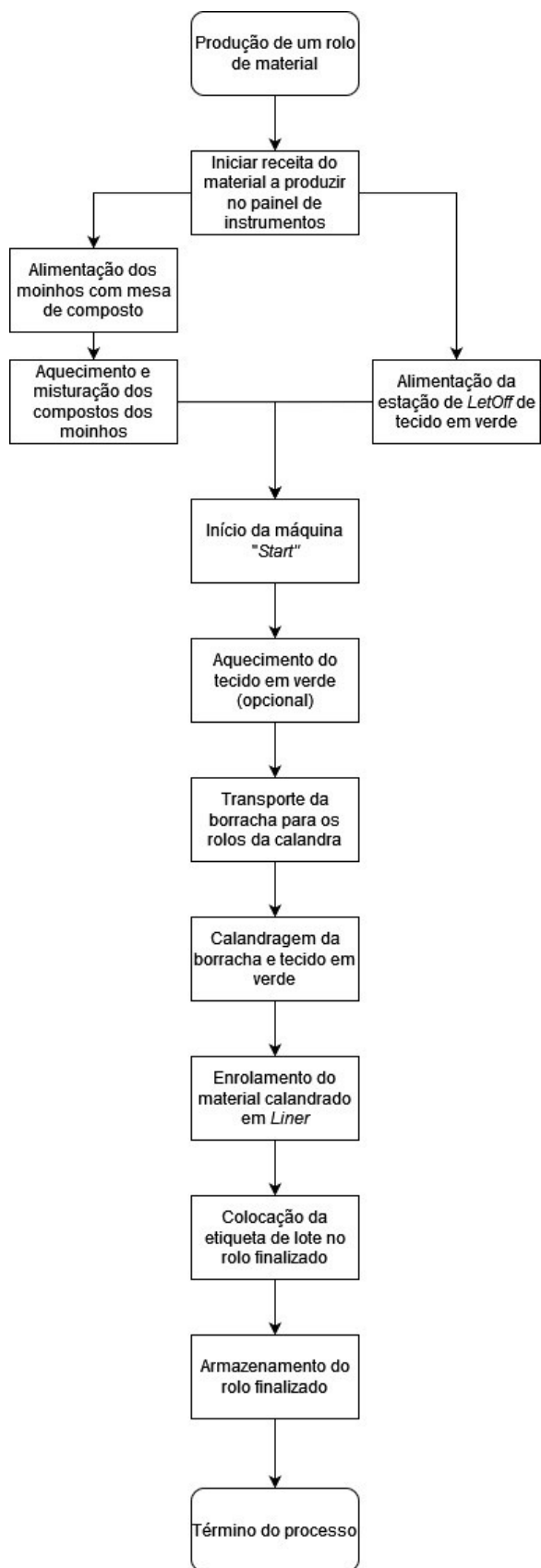


Figura 28 - Fluxograma da produção de um rolo

Neste sentido, enquanto a máquina labora em contínuo, várias mesas de compostos (Figura 29) são colocadas na zona de alimentação dos moinhos (Figura 30) e consumidas desfasadamente de forma a garantir a alimentação ininterrupta de borracha.



Figura 29 - Mesa de composto



Figura 30 - Ponto de alimentação de moinho na calandra 2

Simultaneamente, nas duas estações de *LetOff* de material em verde, os rolos vão sendo consumidos alternadamente, considerando que, antes do tecido de um rolo terminar, o acumulador de tecido em verde entra em ação para que possa ser efetuada a troca de material sem que a calandragem abrande ou seja suspensa.

No mesmo formato, nas duas estações de enrolamento, enquanto um *liner* recebe material, outro *liner* é carregado e preparado na estação parada. Previamente ao término do rolo, o acumulador de material calandrado opera de forma a não parar a calandragem. Após a etapa de enrolamento de material calandrando com *liner*, dá-se a

fase de troca de estações de enrolamento. De seguida o rolo com material enrola em vazio o restante *liner*, de forma a terminar o rolo e prepará-lo para transporte. Esta etapa é designada por “finalização do rolo”

Quando é conhecido o processo base de calandragem do material e seu enrolamento, foi definida a matriz SIPOC para compreender quais os fornecedores e respetivos clientes do produto, com vista a simplificar a perceção de intervenientes diretos ou indiretos no processo (Tabela 10).

Tabela 10 - Diagrama SIPOC

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Costumers</i>
D.I.P. e Misturação	Especificação de compostos	Processo descrito no fluxograma anterior (Figura 28)	Material Calandrado	Construção PLT ou CST
Indústria Têxtil do Ave	Tecido em Verde	Processo descrito no fluxograma anterior (Figura 28)	Material Calandrado	Construção PLT ou CST
Direção Engenharia (D.E.)	Manutenções corretivas e preventivas	Quinzenal, e quando acionado pela equipa de calandra, o processo é definido pela manutenção	Capacidade de trabalho da máquina reestabelecida	Calandra e intervenientes da calandra
Departamento de Metrologia	Calibrações de sensores	Semestral, anual, ou quando acionado pelo D.E. ou equipa de calandra, o processo é definido pelo próprio departamento	Medições de sensores corretas	D.E.P. (Misturação), Calandra e intervenientes da calandra
Fornecedor externo	<i>Liners</i>	Processo de produção de <i>Liners</i> de Polipropileno	Material auxiliar para enrolamento da borracha	Calandra
Laboratório	Validação de materiais para utilização	Processo definido pelo laboratório	Materiais prontos e disponíveis para utilização	Calandra

Importa referir que, no *Output* Material Calandrado, embora seja só identificado um elemento, poderão ser produzidos materiais diferentes seguindo uma especificação. Estas especificações são definidas pela empresa, constituindo necessidades particulares de cada tipo de pneu.

Visto que o material é idêntico em todos os casos, apenas um *Output* foi identificado, sendo abordado com maior profundidade posteriormente.

Quanto aos rolos de tecido em verde, são entregues à empresa prontos a utilizar, protegidos do ambiente e de manuseios deficientes, com plástico e cartão. Inicialmente, são conservados no armazém de rolos de tecido em verde, que se localiza num ponto intermédio entre a Calandra número 1 e a Calandra número 2.

Após a ordem de trabalho do dia ser definida, os rolos são transportados, por empilhador, para o local próprio de armazenamento na respetiva Calandra. Conforme vão sendo necessários para a produção de material calandrado, são transportados da *rack* da Calandra, para a estação de *LetOff* vazia.

Os compostos desenvolvidos pelo D.I.P. são inicialmente produzidos no departamento de misturação e apresentam uma composição proveniente de diferentes tipos de borrachas (naturais, sintéticas e negros de fumo, entre outros). Após serem produzidas quantidades de material *standard*, e realizados testes de aprovação, são colocados em “mesas” para facilitar o seu transporte para a máquina que o irá utilizar.

Os compostos utilizados para a Calandra, são colocados num armazém, dividido em secções, por tipo de material. Quando é necessária uma nova mesa, esta é transportada por empilhador ou porta-paletes até à zona destinada à alimentação dos moinhos.

3.2.2 *Measure – Medir*

Passando à fase de medição, serão definidas as métricas de análise do problema que sustentará a análise. É fundamental que as métricas apresentem, devidamente, o estado do processo de enrolamento. Adicionalmente, e uma vez que podem existir defeitos de enrolamento provenientes da etapa de calandragem ou de etapas anteriores, outras métricas consideradas relevantes, poderão também ser definidas.

A submissão de dados relativos ao desperdício é efetuada pelos operadores das máquinas de corte têxtil. Considerando que as máquinas laboram 24 horas por dia e sete dias por semana, a submissão dos dados é efetuada numa plataforma *online* da empresa, para que sejam facilmente conhecidos pelos vários departamentos, de forma que a listagem de desperdícios possa ser analisada globalmente.

Importa referir que, os dados são submetidos de forma manual, isto é, todos os dados recolhidos são inseridos manualmente pelos operadores, o que pode conduzir a lapsos de escrita.

A escolha de material que é definido como desperdício por rugas, também é definido pelo operador, o que poderá implicar uma análise e, conseqüentemente, identificação incorreta de material rejeitado por este defeito.

Previamente ao início do presente projeto, para a submissão de informação, já tinha sido definida uma descrição-tipo. Este método normalizado permite uniformizar e facilitar a identificação de dados entre os intervenientes no processo.

A descrição é formada por três diferentes partes, nomeadamente: número de lote, número do *liner* utilizado no rolo e a localização da ruga (separados por hífen). Assim, a descrição-tipo apresenta-se como “LLLLL-PP-NNN”, considerando que, os seis “L” correspondem aos seis últimos caracteres do número de lote, os dois “P”, identificam a localização da ruga no rolo (IR – início do rolo; MR – meio do rolo; FR – fim do rolo) e, os três “N”, correspondem ao número do *liner*. No que diz respeito ao posicionamento da ruga no rolo, ressalva-se que, para o operador do corte, o início é referente ao fim do enrolamento e, o fim do corte, é alusivo ao início do enrolamento.

Atendendo ao facto de que os cortes na máquina de corte têxtil são executados a toda a largura do material calandrado, variando no seu comprimento, quando o operador deteta uma ruga, na maioria das situações, toda a porção de material é removido. Isto é, o material a remover não corresponde exclusivamente à massa de ruga, mas sim ao total de um corte. Salienta-se que, em simultâneo, é essencial respeitar um número máximo de emendas por cada metro de material.

Para além das informações referidas, o operador regista a máquina em que foi cortado o material (visto que existem cinco máquinas diferentes para este efeito), a calandra, a equipa, a estação de enrolamento que produziu o rolo e, por fim, a data de registo da ocorrência. Assim, o relatório final providencia as informações sobre o desperdício registado.

Considerando as informações de desperdício existentes, e com vista a identificar a quantidade de desperdício por material ou máquina, começou por ser definido, como métrica principal, a quantidade de material desperdiçado, em quilogramas.

Após uma primeira análise dos dados, verificou-se que a informação era subjetiva e pouco clara, uma vez que, diferentes materiais apresentam diferentes massas volúmicas. Salienta-se também que, a própria produção é consideravelmente diferente de um material para o outro.

Uma nova métrica foi averiguada tendo em consideração a possibilidade de desvios nos valores. Assim, assumiram-se duas métricas para os dados, nomeadamente: a quantidade de material desperdiçado, por quilómetro produzido e quantidade de material produzido, por tonelada de material produzido. Estas novas métricas permitem efetuar uma comparação direta entre valores de diferentes tipos de materiais.

Para proceder à recolha de dados, foi utilizada uma *dashboard* de *PowerBI* (fornecida pela empresa), onde se encontra a informação relativa a toda a produção de material calandrado têxtil, em metros, por lote, sendo igualmente exibida a data e hora de produção, equipa e máquina utilizada para a produção do material. Estes dados são gerados automaticamente, pelo sistema das máquinas, assegurando precisão na informação e eliminando o possível erro humano.

Numa fase inicial do problema, no qual, todos os *liners* utilizados para a produção de material calandrado são antigos, tendo já ultrapassado uma fase inicial de desgaste, a média diária de desperdício produzido por ambas as Calandras (CAL1 representa a Calandra 1 e CAL2 a Calandra 2) corresponde, por semana, ao seguinte (Figura 31):

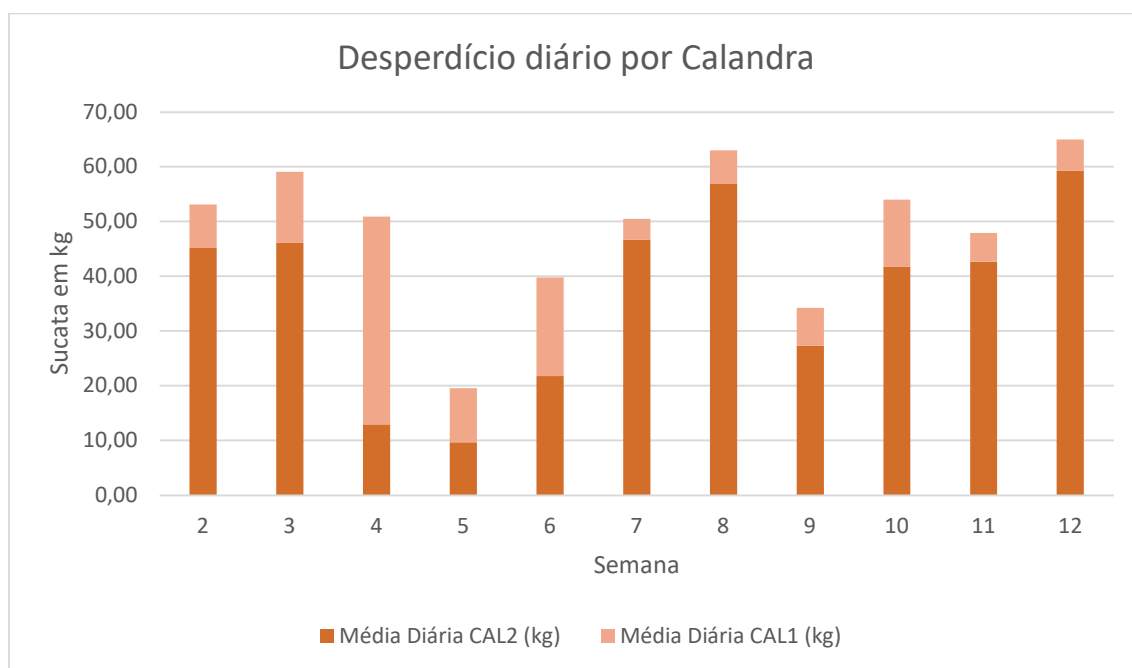


Figura 31 - Gráfico de desperdícios diários por calandra em quilograma

Salienta-se ainda que a recolha de dados foi iniciada apenas na quinta semana do ano, não tendo sido possível reunir dados relativos à primeira semana do ano.

Agrupando ambas as máquinas, na Tabela 11, é possível verificar a quantidade de desperdício semanal e a média diária, em cada semana. Considerando que a fábrica labora sete dias por semana, a conversão de dados semanais para diários, apenas necessita da divisão do valor por sete.

Tabela 11 - Média semanal e diária de desperdício

Semana	Média Semanal (kg)	Média Diária (kg)	Semana	Média Semanal (kg)	Média Diária (kg)
2	371,80	53,11	8	441,10	63,01
3	413,60	59,09	9	239,70	34,24
4	356,35	50,91	10	406,85	58,12
5	144,35	20,62	11	335,45	47,92
6	278,35	39,76	12	454,65	64,95
7	353,50	50,50			

Analisando a tabela, é possível verificar que, devido a rugas, existe um desperdício semanal, em média, de 345,06 kg e um desperdício diário, em média, de 49,29 kg. Devido aos desperdícios demonstrarem um valor médio diário global superior a 40 kg, justifica-se a implementação da metodologia DMAIC.

3.2.3 *Analyze – Analisar*

Na primeira análise de dados foram observados diversos enrolamentos de diferentes tipos de materiais, com maior foco nos materiais que geravam maior desperdício devido à formação de rugas.

Constatou-se que no período da semana 2 à 12 do ano 2022 foram identificados quatro materiais, sendo que, dois são constituídos por cordas de poliéster (materiais A e D) e dois por *rayon* (materiais B e C), que correspondem a 82,47% do volume em peso do desperdício (Figura 32).

Considerando que estas ocorrências são referentes a corretas submissões de valores na plataforma da empresa, sucederam-se 277 ocorrências e, aproximadamente, 3200 kg de desperdício.

Material	Quantidade de desperdício (kg)	Percentagem quantidade	Contagem de ocorrências
Material A	1077,65	33,82%	101
Material B	576,05	18,08%	52
Material C	516,55	16,21%	53
Material D	457,55	14,36%	30
Material E	172,45	5,41%	17
Material F	129,8	4,07%	11
Material G	117,6	3,69%	7
Material I	100	3,14%	1
Material J	10	0,31%	1
Material K	14	0,44%	2
Material N	8,6	0,27%	1
Material O	6	0,19%	1
Total Geral	3186,25	100,00%	277

Figura 32 - Quadro Resumo semana 2 a 12

Assim, os materiais em que um número maior de enrolamentos foi observado, foram os materiais A, B, C e D, sendo que, o principal foco de análise foi definido como sendo o material A.

Para se estabelecerem comparações entre os valores, é essencial que os mesmos sejam relativos, ou seja, recorre-se às métricas definidas, nomeadamente, a massa de desperdício por quantidade produzida, em cada tipo de material. Salienta-se que, em caso de aproximação de valores em metros produzidos analisar-se-á, também, em quilogramas produzidos, para verificar eventuais diferenças.

Assim, na Figura 33, é possível observar as quantidades produzidas de cada material, tanto em quantidade de rolos, como em percentagem, a nível global e, por calandra. Importa referir que cada rolo tem a sua própria metragem, ou seja, para o cálculo das métricas de desperdício por metro produzido, é fulcral considerar os metros de cada rolo.

Rótulos de Linha	Rótulos de Coluna		Contagem de Rolos		Total Percentagem de	
	Percentagem de Metros Produzidos		Contagem de Rolos		Metros Produzidos	Total Contagem de Rolos
	Calandra 1	Calandra 2	Calandra 1	Calandra 2		
Material A	51,70%	42,62%	1012	1795	45,57%	2807
Material D	10,66%	18,05%	214	753	15,65%	967
Material E	8,55%	10,82%	159	408	10,08%	567
Material B	7,94%	6,43%	141	234	6,92%	375
Material C	6,56%	6,91%	130	282	6,80%	412
Material P	0,00%	5,48%		209	3,70%	209
Material F	0,19%	5,28%	3	180	3,62%	183
Material K	5,75%	0,60%	101	22	2,28%	123
Material I	4,72%	0,28%	90	13	1,73%	103
#N/D	3,50%	0,54%	71	23	1,51%	94
Material N	0,00%	1,23%		48	0,83%	48
Material G	0,00%	1,19%		52	0,81%	52
Material H	0,43%	0,36%	8	15	0,38%	23
Material J	0,00%	0,19%		8	0,13%	8
Material M	0,00%	0,02%		2	0,02%	2
Total Geral	100,00%	100,00%	1929	4044	100,00%	5973

Figura 33 - Produção de material entre semana 2 a 12

Salienta-se que, o material identificado como “#N/D” corresponde a rolos de teste ou materiais que, à data, ainda se encontravam em produção, com diferentes nomenclaturas.

Os materiais A, D e E, todos contendo poliéster, são produzidos em maior quantidade que B e C, que por sua vez são produzidos em *rayon*. Comparando com a Figura 32, verifica-se que o material A, também constitui praticamente metade da produção total, ou seja, o valor superior de desperdício é expectável que seja superior, comparativamente aos restantes.

Colocando o foco nos materiais que constituem 85% da quantidade produzida, ou seja, os materiais de A a E, é possível constatar, nas próximas imagens, as diferenças entre métricas, sendo estas referidas como “rácios” (Figura 34 e Figura 35).

Calandra 1				
Material	Desperdício (kg)	Rácio kg/km	Produção em toneladas	Rácio Desperdício/tonelada produzida
Material A	313,25	0,71	825,64	0,38
Material E	0,00 --		126,45	0,00
Material D	75,00	0,82	212,85	0,35
Material B	224,45	3,30	128,88	1,74
Material C	155,25	2,77	123,93	1,25

Figura 34 - Métricas de análise da calandra 1

Calandra 2				
Material	Desperdício (kg)	Rácio kg/km	Produção em toneladas	Rácio Desperdício/tonelada produzida
Material A	927,30	1,23	1412,00	0,66
Material E	176,80	0,92	331,82	0,53
Material D	525,10	1,64	747,44	0,70
Material B	495,40	4,34	216,49	2,29
Material C	435,65	3,55	270,99	1,61

Figura 35 - Métricas de análise da calandra 2

A diferença entre as duas calandras é considerável. O material A é considerado o *Big Runner* da empresa devido à atual elevada produção e procura existente. Os materiais B e C, como já foi referido anteriormente, são constituídos por *rayon* e apresentam-se com maior suscetibilidade a defeitos por rugas.

Foi verificado, durante o período em análise, que a identificação dos *liners* utilizados nos enrolamentos não era devidamente preenchida aquando da submissão de desperdício. Na Figura 36, é possível constatar este problema.

Informação de Liner	Contagem	Porcentagem
Com Informação	71	25,63%
Sem Informação	206	74,37%
Total Geral	277	100,00%

Figura 36 - Informação sobre *Liner* semana 2 a 12

A linha “Com informação” refere a quantidade de submissões na plataforma onde o número do *liner* se encontrava identificado pelo operador. Como é possível observar, apenas 25% das submissões contêm a devida identificação do *liner*. Desta forma, por ser um ponto fulcral para a análise de causas de desperdício, todos os colaboradores ligados à submissão de dados de desperdício, foram alertados para esse facto.

Adicionalmente, recorreu-se a um histograma para procurar compreender quais são os tipos de rugas com maior frequência. Verificou-se que rugas de extremos representavam elevadas quantidades de material devido à repetição da ruga em cada rolo.

Constatou-se, também, que ocorrências até 19,1 quilogramas correspondem a 86% do total das ocorrências e, aproximadamente, 50% das ocorrências verificadas encontra-se abaixo dos 8 kg.

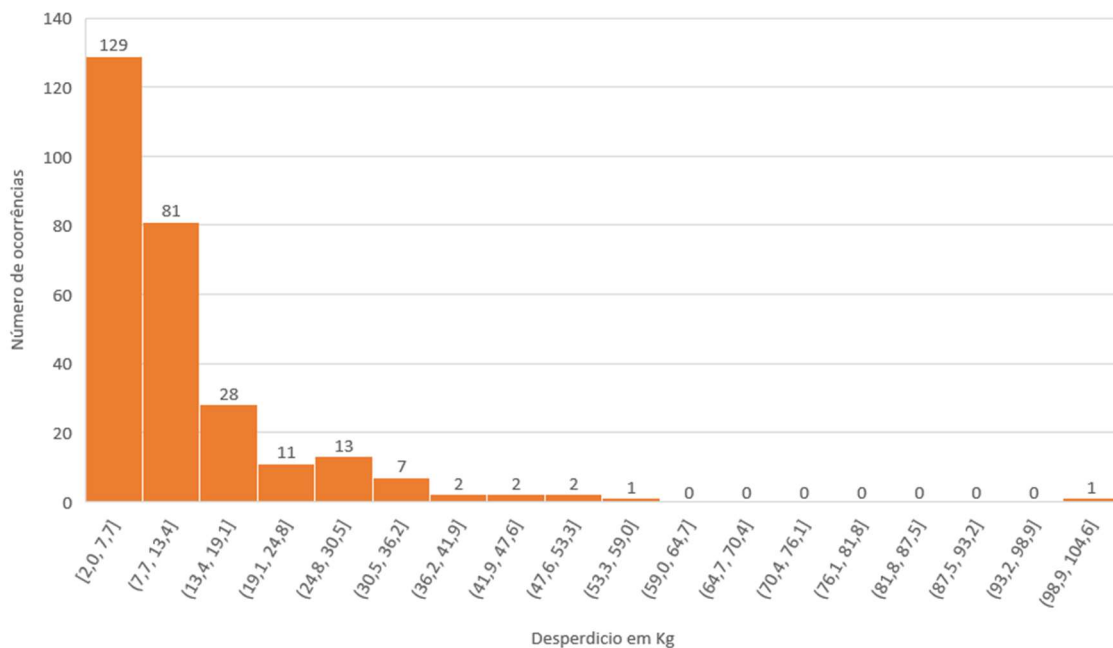


Figura 37 - Histograma quantidade de desperdício por ocorrência

3.2.4 *Improve* – Melhoria

Embora a informação sobre os *liners* utilizados seja reduzida, através de uma observação intensiva dos enrolamentos e das informações provenientes dos colaboradores, foi possível concluir que os *liners* com defeitos, tais como, tecido roto ou deformações oriundas dos velcros existentes nos terminais do *liner*, originavam mais rugas.

As rugas existentes nas primeiras semanas do ano eram, única e exclusivamente, de extremos ou de deformações do *liner*. Com vista à redução destes problemas, alguns dos *liners*, já referenciados por colaboradores, foram retidos para manutenção.

Atualmente, a manutenção de *liners* consiste numa manutenção corretiva, ou seja, só existe um ato de manutenção quando é apurado um defeito crítico no *liner*.

Após a reparação de alguns destes *liners* (através, essencialmente, de limpeza, reparação de rasgos e remoção de zonas deformadas) foi verificado através de observação de enrolamentos que o defeito de rugas já não se repetia. A título de exemplo, o *liner* número 135, no período das 11 semanas referidas anteriormente, tinham sido identificadas quatro ocorrências de rugas. A partir desse momento, até final de agosto, só foi indiciado desperdício por rugas, uma única vez.

Tendo sido constatado que as deformações existentes nos terminais dos *liners* são um dos tipos de rugas a aparecer com maior frequência, torna-se necessário intervir na sua melhoria.

Assim, na Figura 38, é apresentado o terminal de tecido com velcro de um *liner*. A orientação do velcro (parte preta), está ao longo da direção de enrolamento de material. O extenso comprimento de velcro, que por sua vez, impõe uma zona no rolo com maior diâmetro, acaba por originar uma deformação do próprio *liner* proveniente do aumento do número de utilizações, como é possível visualizar na Figura 39.

Visto que o objetivo destes velcros consiste em acoplar o tecido ao núcleo de enrolamento, em discussão de equipa, foi tomada a decisão de alterar o *layout* dos velcros no tecido cinzento. Neste sentido, alterou-se a orientação do velcro, passando a ser colocado apenas na direção transversal ao enrolamento, como se verifica na Figura 40 e Figura 41.



Figura 38 - Terminal de *liner* com *layout* de velcro antigo



Figura 39 - Tecido de *liner* deformado devido a velcros



Figura 40 - Novo *layout* de velcro



Figura 41 - Novo *layout* de velcro

Com esta alteração, o problema de deformações no material associado às deformações de tecido é corrigido, conforme observado na Figura 42.

O final do material encontra-se completamente esticado (Figura 42), algo que, com os velcros colocados na direção do enrolamento do material, não acontecia devido ao excesso de diâmetro em certos pontos, como se pode verificar na Figura 43.



Figura 42 - Final do material com velcro novo



Figura 43 - Final do material com velcro antigo

Salienta-se que apenas estão a ser colocados novos tecidos à medida que estes são entregues pelo fornecedor. Neste sentido, foram priorizados os *liners* onde se verificam grandes deformações de tecido do *liner* para colocação dos novos terminais.

Importa referir que, esta informação foi retirada através de um sistema implementado pela equipa de trabalho, com vista à obtenção de informação sobre os *liners* existentes, uma vez que, até ao momento, não existia informação sobre o tema. Devido à expansão do parque de *liners*, é importante que exista informação sustentada sobre o tipo de *liner* existente e terminais que são compostos.

O sistema implementado consistiu na colocação de cadernos nas estações de enrolamento, para que cada operador, no momento de utilização de cada *liner*, registre a informação requisitada sobre o mesmo (Figura 44) permitindo obter mais informação sobre o *liner* e até observar a sua própria evolução.

Para que fosse perceptível e acessível a qualquer operador foi utilizado, como registo de informação, somente dois elementos: OK e NOK (Não OK). Adicionalmente, foi colocado junto às estações de enrolamento, um cartaz com uma breve explicação sobre cada uma das colunas em funcionamento, servindo essencialmente como suporte visual para o preenchimento do caderno (Figura 45 e Anexo 6.1).

Data	Tipo de Liner		Velcro		Estado		Alinhamento		Estação
	Novo	Velho	Novo	Velho	Liner	Velcro	Antes (vazio)	Após (enrolado)	
	X		X		OK	OK	NOK	OK	1/2

Figura 44 – Exemplo do caderno para registo de *liners*

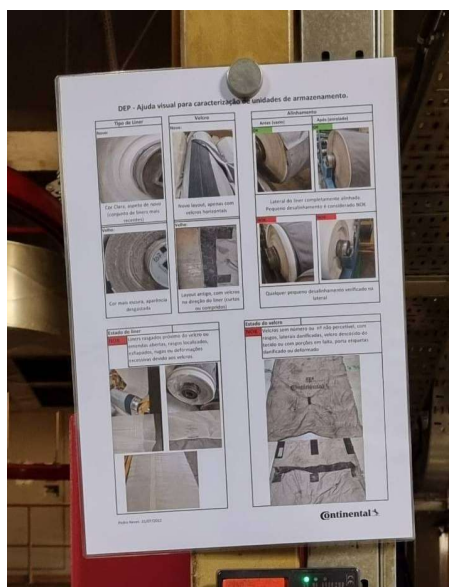


Figura 45 - Ajuda visual para registo de *liners*

Com vista a um maior controlo sobre as manutenções efetuadas aos *liners*, foi desenvolvido um manual para que os colaboradores que efetuam os trabalhos registem a informação. O principal propósito do manual consiste no controlo do número de identificação dos *liners*, uma vez que o mesmo pode ser alterado. Assim, existiria um conhecimento sobre todas as intervenções efetuadas, até ao momento, em cada unidade.

Na Figura 46, é apresentado o cabeçalho de cada página para demonstrar as informações fundamentais sobre as intervenções.

Manutenção de liners

Data	Número Antigo do Liner	Número Novo do Liner	Limpeza	Reparação de rasgos	Reparação de deformações	Substituição de velcros	Reparação de vincos	Notas

Figura 46 - Cabeçalho do Manual de registo de manutenções de liners

Tendo sido verificado que os *liners* danificados constituíam potenciais causas de defeito proveniente de desequilíbrios de tensão aplicados ao próprio *liner*, na secção transversal, era essencial que a manutenção fosse realizada, independentemente do estado de um *liner*, isto é, implementar manutenção preventiva (Figura 47).

Ressalva-se que, era objetivo da equipa existir a referida manutenção regular aos *liners*. Todavia, a quantidade de *liners* existentes atualmente não permite que sejam retidos até ocorrer a devida manutenção, o que levou a uma procura de aumento de unidades em *stock*.



Figura 47 - Liner rasgado

A partir da semana 12 do ano, entraram em produção cinco novos *liners*. Durante as suas primeiras utilizações, verificou-se o aparecimento de rugas por escorregamento entre camadas.

A partir da semana 25, encontravam-se cerca de 30 *liners* novos em produção. Assim, com o aumento de liners a laborar, foi igualmente constatado um aumento significativo da quantidade de desperdício diário.

Tal como é possível verificar na Figura 48, ocorre um aumento de 3186 kg para 9986 kg no total de desperdício, e um total de ocorrências que passou de 277 para 939. Os dados demonstrados apresentam a quantidade de desperdício para o mesmo período temporal exibido na Figura 32.

Material	Desperdício (kg)	Porcentagem quantidade desperdício	Número de ocorrências
Material A	4281,05	42,87%	430
Material B	1506,61	15,09%	131
Material C	1498,7	15,01%	111
Material D	1371,75	13,74%	136
Material E	597,65	5,98%	61
Material F	361,58	3,62%	38
Material G	273,65	2,74%	22
Material J	51,5	0,52%	4
Material L	34,35	0,34%	4
Material K	9,8	0,10%	2
Total Geral	9986,64	100,00%	939

Figura 48 - Quadro resumo semana 20 a 30

Assim, analisando os valores existentes de ambas as Calandras, é possível observar através da Figura 49, um aumento significativo das médias diárias em cada máquina comparando com os valores apresentados na Figura 31. Nas semanas 2 a 12, verificava-se uma média diária de desperdício de 47,7 kg. Todavia, no período da semana 20 à semana 30, este valor aumentou para 129,7 kg, considerando que, a maioria das rugas estavam associadas a escorregamento entre camadas.

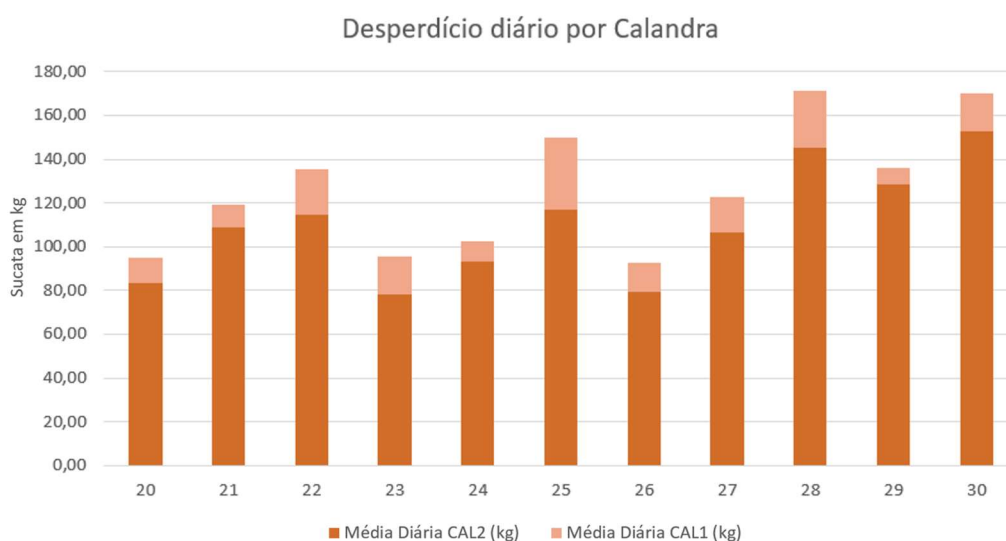


Figura 49 - Gráfico de desperdícios diários por calandra em quilograma Semana 20 a 30

É importante salientar que, no total das 939 ocorrências, foi verificada uma melhoria substancial nas submissões de informação relativa ao desperdício. Assim, a melhoria da informação sobre o *liner* aumentou de aproximadamente 25% (Figura 36) para perto de 80% (Figura 50).

Informação de Liner	Contagem	Porcentagem
Com Informação	751	79,98%
Sem Informação	188	20,02%
Total Geral	939	100,00%

Figura 50 - Informação sobre *liner* semana 20 a 30

Neste sentido, procurou-se identificar quais os *liners* que mais desperdício geram. Na Figura 51, é apresentada a lista dos dez *liners* mais críticos, tendo sido possível identificar o ponto em comum entre todos, isto é, constatou-se que todos os *liners* eram novos e todas as ocorrências eram resultado de rugas de escorregamento.

Número do Liner	Número de ocorrências	Porcentagem
155	23	2,50%
161	16	1,74%
147	16	1,74%
153	15	1,63%
176	14	1,52%
178	14	1,52%
159	14	1,52%
174	13	1,41%
169	13	1,41%
165	13	1,41%

Figura 51 - Lista *liners* críticos

Com vista à redução deste problema, foi realizada uma reunião de *brainstorming*, constituída por diversos elementos associados, direta ou indiretamente, ao processo de enrolamento. A equipa era constituída por elementos do fornecedor de compostos de borracha, fornecedor de rolos de tecido em verde, elementos das calandras de vários postos da máquina, elementos do corte têxtil e elementos da equipa de implementação DMAIC.

O objetivo da reunião consistia em ser desenvolvido um diagrama de Causa-Efeito no qual fossem reunidas o maior número de ideias possível que apresentassem uma justificação para a aparição de defeitos. No final da reunião, para identificar quais os principais problemas verificados, foi efetuada uma sessão de votos. Na Figura 52, é possível verificar os resultados da reunião.

Cada ponto vermelho da Figura 52 (Anexo 6.2), representa os votos totais em cada ideia apresentada e que resultaram na definição dos seguintes três aspetos mais importantes:

- Variação da velocidade de enrolamento;
- Fatores associados aos terminais de *liner*: velcro e *layout*;
- Propriedades e tipos de *liner*.

Todavia, e tendo em conta a melhor prestação da Calandra 1 comparativamente à Calandra 2 foi considerado, ainda, um quarto ponto como fator importante a testar (Figura 53).

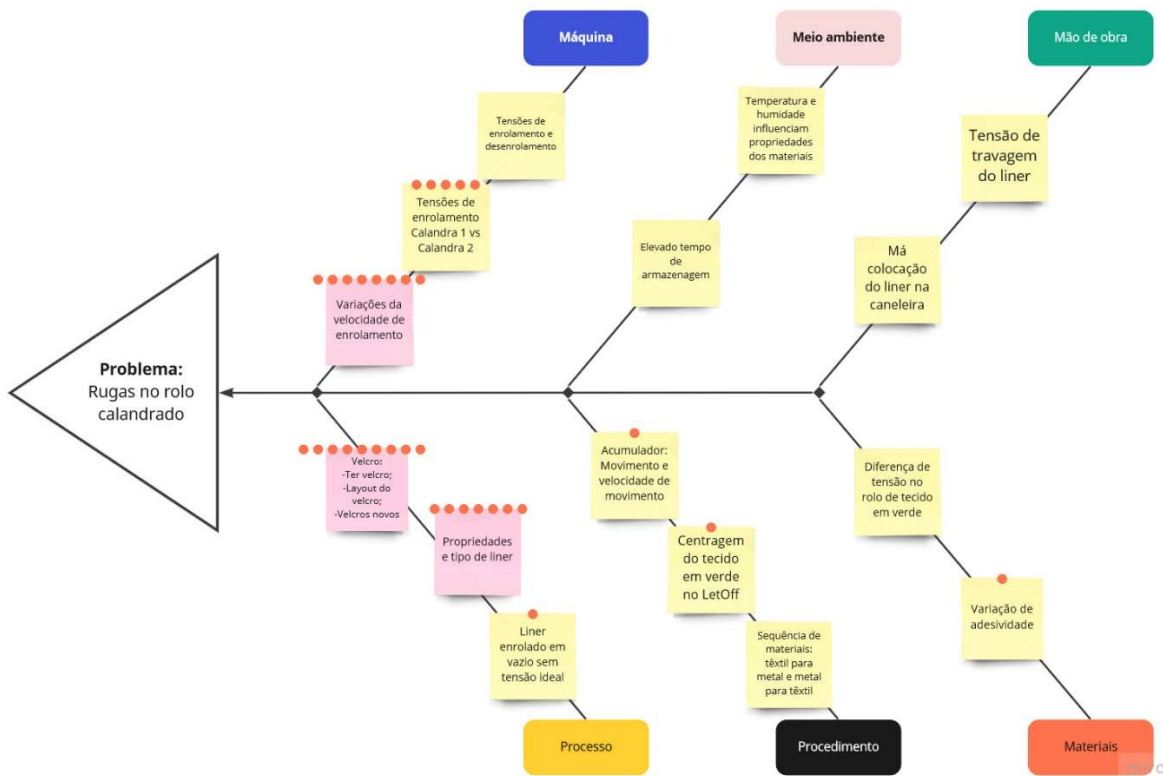


Figura 52 - Diagrama Causa Efeito desenvolvido pelo grupo que efetuou o *Brainstorming*

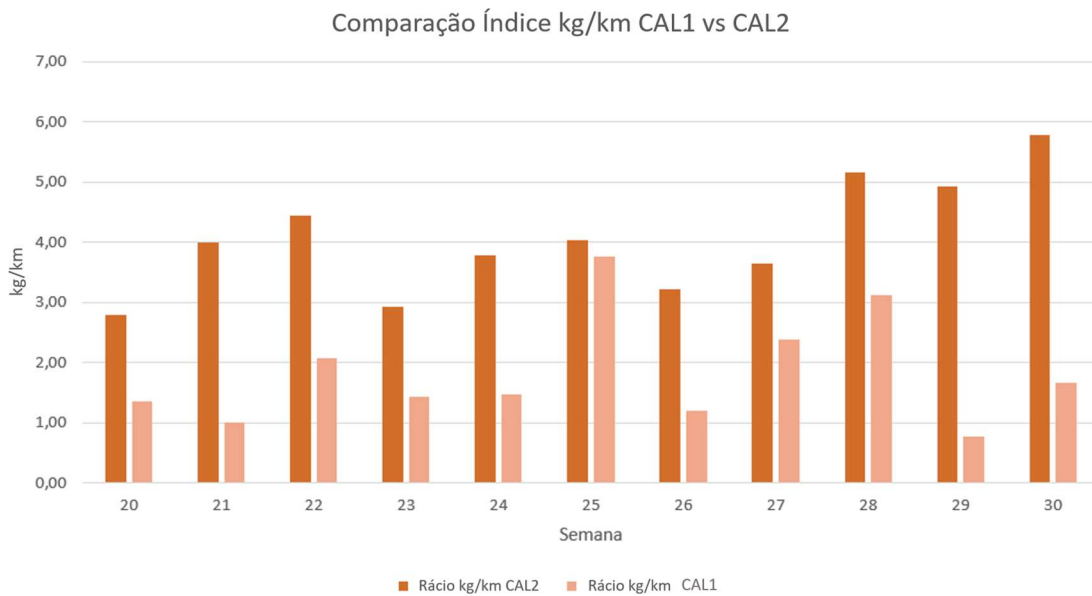


Figura 53 - Comparação métrica kg/km produzido CAL1 vs CAL2

Neste sentido, nos próximos capítulos serão analisados os pontos mais resultantes do diagrama de Causa Efeito.

3.2.4.1 Variação da velocidade de enrolamento

O escorregamento é verificado somente após o término do enrolamento, contudo, durante o próprio processo de enrolamento, existe a possibilidade de ocorrerem acelerações ou desacelerações que influenciam a capacidade de resistir ao momento aplicado, na finalização do rolo. Sendo que, o momento de inércia de um rolo de material calandrado é elevado, quando aplicada uma elevada aceleração angular, é gerado e imposto um binário, que poderá levar à ocorrência de escorregamento (equação 4) (Cross, 2015).

$$\tau = I * \alpha \quad (4)$$

Considerando que a aceleração se traduz em diferenças de velocidade num intervalo de tempo, torna-se fundamental analisar as velocidades do enrolamento de material.

Na Figura 54, é apresentada a curva de velocidade de enrolamento da estação em trabalho, gerada pela leitura de sensores do posto de enrolamento (linha vermelha) e a leitura da velocidade do material à saída do acumulador (linha branca). Sensivelmente a meio do rolo, representado num círculo vermelho, constata-se uma redução abrupta da velocidade de enrolamento, no qual, grande parte dos escorregamentos são observados.



Figura 54 - Velocidades de enrolamento na Calandra 2

Efetuada uma comparação entre as curvas de velocidade da Calandra 1 (Figura 55) com a Calandra 2 (Figura 54) constata-se, semelhantemente, uma redução de velocidade a meio do enrolamento, todavia, a redução na Calandra 1 é mais suave, originando acelerações menos elevadas. Tal como é possível verificar na Figura 55, na qual, a curva (a preto) representa a velocidade de enrolamento da estação em trabalho na Calandra 1, e o círculo (a vermelho), evidencia o ponto de redução de velocidade mais brusca.



Figura 55 - Velocidade de enrolamento na Calandra 1

Considerando as diferenças identificadas entre Calandras, foi analisada a possibilidade de minimizar a redução brusca de velocidade na Calandra 2. Neste sentido, surgiu a necessidade de recorrer ao Departamento de Engenharia, com vista à criação de uma nova curva de velocidades e atualização do controlo da máquina. Para esta finalidade, também foi necessário reduzir a velocidade de libertação de material pelo acumulador.

Assim, não só a redução de velocidade do rolo apresenta um movimento suave sem nenhuma ocorrência de redução súbita de velocidade, como também foi minimizada a variação brusca de velocidade, como é possível verificar na Figura 56. De salientar que, a curva verde, representa a velocidade de enrolamento da estação em trabalho da Calandra 2, e a curva branca a libertação de material do acumulador.

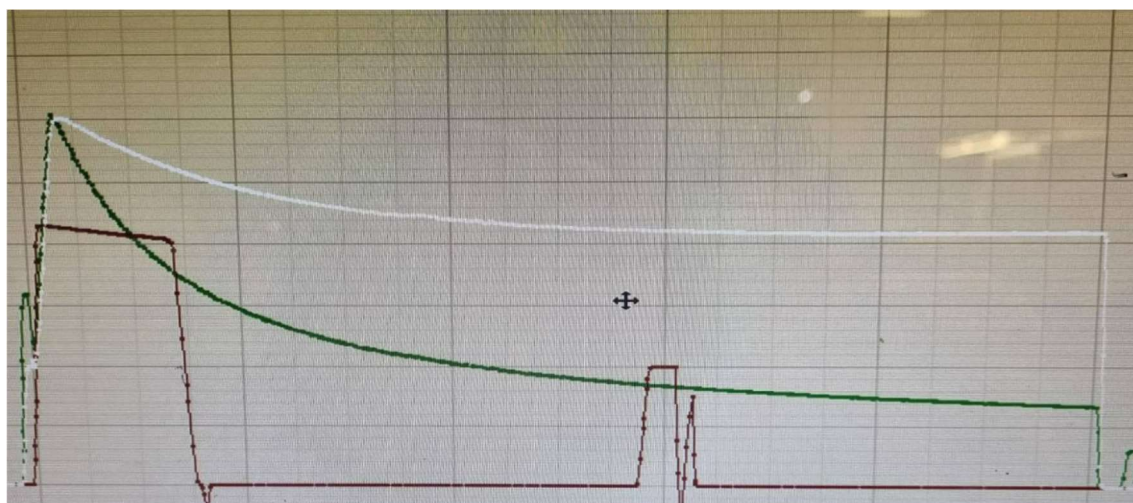


Figura 56 - Nova curva de velocidade de enrolamento na Calandra 1

Tendo a implementação da ação mencionada ocorrido na semana 28, era expectável constatarem-se resultados notórios a curto prazo. Isto é, era esperado que nos primeiros rolos produzidos com este tipo de velocidade, já se confirmava uma redução do defeito.

Devido a ser um parâmetro da máquina e não de cada material, esta ação foi automaticamente aplicada a todos os materiais. Desta forma, foi possível concluir que, apesar de se verificar uma melhoria a nível da estabilidade da máquina, nenhuma diminuição de defeito resultou desta ação.

Salienta-se que, a velocidade global de enrolamento da máquina não pode ser reduzida, uma vez que iria diminuir a capacidade de produção da Calandra e, conseqüentemente, não corresponder às necessidades de produção.

3.2.4.2 Fatores associados aos terminais de liner

Conforme já referido anteriormente, os terminais do *liner* desempenham uma função fundamental, isto é, o acoplamento do *liner* à caneleira. Adicionalmente, quando o rolo se encontra fechado (Figura 57), tanto em cheio como em vazio, desempenha a função de proteção contra sujidade e pancadas.

Considerando que os *liners* são transportados pelo empilhador (com recurso aos garfos), sem os terminais, o empilhador ao iniciar o transporte, poderia rasgar o material nas diversas camadas (com a frente dos garfos) o que resultava numa remoção de dezenas de metros de *liner*.



Figura 57 - *Liner* fechado em vazio

Protegendo igualmente da sujidade do chão e do ar, é possível o aproveitamento de todo o *liner* em caso de necessidade e, sobretudo, iniciar o enrolamento de material nos

primeiros metros de *liner*. Neste sentido, os terminais foram definidos como pontos essenciais do *liner*, não obstante de estarem sujeitos a melhorias.

Segundo a informação apresentada no quadro da Figura 58, é possível verificar que o número de ocorrências nos *liners* novos é superior ao de *liners* velhos. Como um dos temas debatidos na reunião de *brainstorming* correspondeu ao *layout* do velcro dos terminais, foram averiguadas ambas as hipóteses, isto é, analisar qual a melhor solução: a atual ou a antiga.

Rótulos de Linha	Ocorrências/ Contagem de Liner Quantidade de Liner	
<input type="checkbox"/> Sem Informação	284	
Sem Informação	284	
<input type="checkbox"/> Terminal Novo	473	
Liner Novo	427	8,37
Liner Velho	46	3,83
<input type="checkbox"/> Terminal Velho	182	
Liner Novo	30	2,73
Liner Velho	152	2,53
Total Geral	939	

Figura 58 - Informações sobre terminais e *liners*

Efetivamente, a proporção da quantidade de ocorrências para a quantidade de *liners* identificados apresenta-se superior no caso dos *liners* com terminais novos.

A quantidade de *liners* (novos ou velhos, com terminal novo ou velho) foi determinada através da folha de registos de *liners*, como é possível verificar na Figura 59.

Tipo de Liner	Contagem
<input type="checkbox"/> Terminal Novo	63
Liner Novo	51
Liner Velho	12
<input type="checkbox"/> Terminal Velho	71
Liner Novo	11
Liner Velho	60
Total Geral	134

Figura 59 - Contagem de *liners* em função do tipo de terminal

Salienta-se que, o tecido utilizado, em ambos os terminais, é igual. Contudo, os terminais antigos já se encontram visivelmente desgastados e esticados, com uma textura distinta.

Semelhante à utilização do *liner*, o terminal apresenta uma melhoria quanto à ocorrência de defeitos, isto é, adota uma curva de fiabilidade idêntica à curva da banheira (Figura 60)(Lu *et al.*, 2016). Contudo, neste caso, o conceito deverá ser adaptado para a produção de defeitos, e não à avaria do *liner* ou terminal.

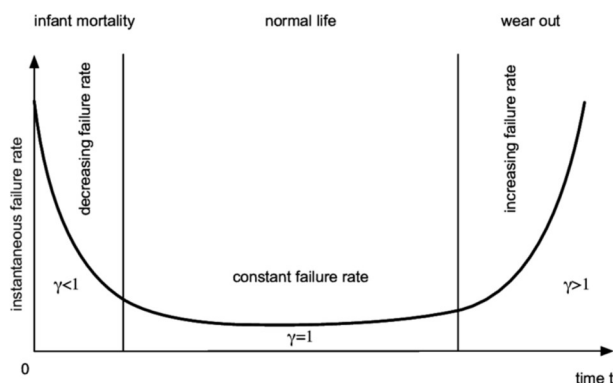


Figura 60 - Curva da Banheira da distribuição de Weibull (Lu *et al.*, 2016)

Assim, estabelecendo uma relação idêntica para a produção de desperdício, verifica-se que, numa primeira fase do ciclo de vida do *liner*, compreende-se que existirá um maior número de defeitos, no terminal, até que entrará numa fase estável de trabalho e não serão registados defeitos na produção. Numa fase avançada do ciclo de vida, retorna a produzir rugas devido ao próprio defeito no material, como se constata no caso das rugas por deformação do *liner*.

Pretende-se analisar as diferenças entre ambos os *layouts*, numa fase mais avançada do ciclo de vida, todavia, como ainda não existem terminais com a mesma quantidade de utilizações, ainda não foi possível efetuar algum tipo de comparação.

Através da observação do enrolamento e dos *liners* enrolados, quer em cheio quer em vazio, foi verificado que existe uma incorreta colocação do velcro do terminal, na caneleira. Devido à elevada capacidade dos velcros se acoplarem ao núcleo do enrolamento, na fase inicial do ciclo de vida, uma má centragem do terminal pode gerar defeitos não absorvidos pelo escorregamento do velcro. De seguida, na Figura 61 e Figura 62, verificam-se alguns exemplos do problema mencionado.



Figura 61 - Exemplo 1 de rolo descentrado do núcleo



Figura 62 - Exemplo 2 de rolo descentrado do núcleo

Sendo considerado um erro de *SetUp* (*The Ultimate Guide to Poka-Yoke* | Tulip, 2021), e de forma a facilitar a colocação de modo centrado, pretendia-se inserir uma risca de cada lado do núcleo (numa cor contrastante com a do tecido e do núcleo). Este sistema

funcionaria como um *Poka-Yoke* para evitar o erro humano de *SetUp* e identificar o espaço onde o terminal deve ser colocado.

Assim, o enrolamento seria iniciado corretamente, e o descentramento e torção do *liner* nos primeiros metros, seria evitado. No entanto, devido à elevada quantidade de núcleos existentes atualmente em trabalho, e à reduzida disponibilidade dos colaboradores aptos para realizar a tarefa, ainda não foi possível implementar a medida na sua íntegra.

3.2.4.3 *Propriedades e tipos de Liner*

Conforme referido anteriormente, o escorregamento entre camadas, está diretamente ligado a uma propriedade do material constituinte do *liner*.

Tendo como base os princípios da Norma ASTM D1894 (American Society for Testing and Materials, 2016), foi elaborado um plano de testes para ensaios de coeficiente de atrito, tal como é possível observar mediante o esquema abaixo (Figura 63).

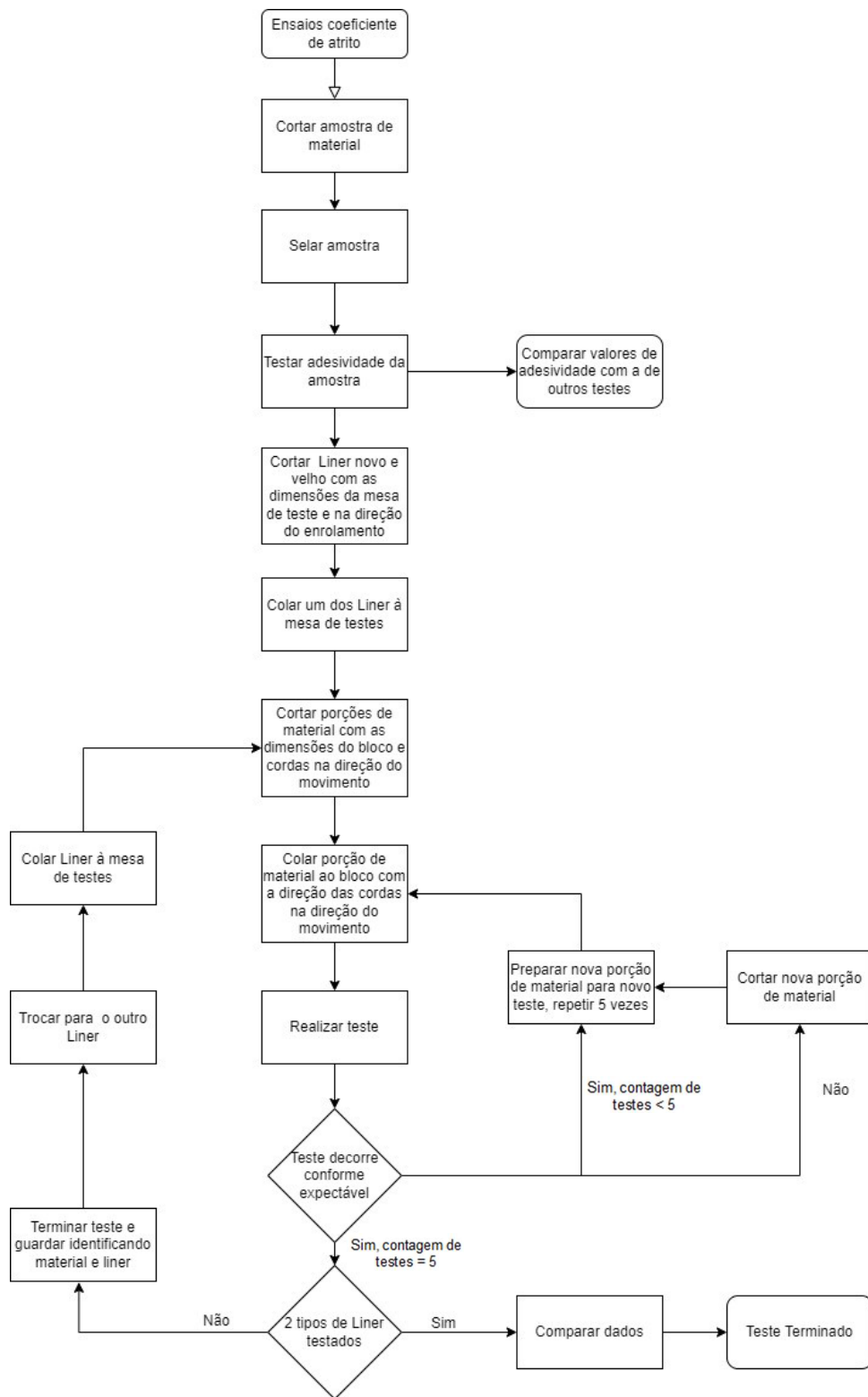


Figura 63 - Plano de testes para ensaios de coeficiente de atrito

Para além de permitir identificar os valores de coeficiente de atrito entre *liners*, antigos ou novos, e materiais, também possibilita a verificação da existência de uma potencial relação entre a adesividade dos materiais e o seu coeficiente de atrito.

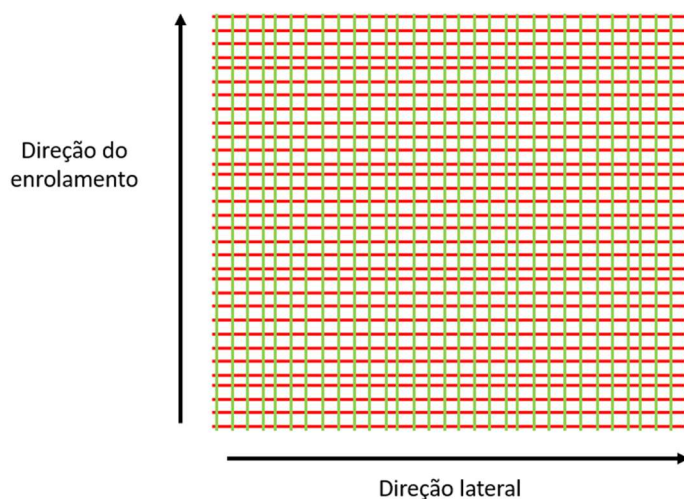
Seguidamente, na Figura 64, é apresentado um equipamento desenvolvido pela equipa para viabilizar a realização dos testes de coeficiente de atrito. Salienta-se que o tipo de utensílios e dimensões-tipo para o equipamento definidos, tiveram como princípio basilar o que está indicado na Norma ASTM D1894 (American Society for Testing and Materials, 2016).



Figura 64 - Equipamento para ensaios de coeficiente de atrito

De destacar que, os testes foram desenvolvidos entre o *liner* e o material calandrado, tendo sido considerada e testada, também, a direção do enrolamento e a direção lateral, uma vez que se observam escorregamentos em ambas as direções.

Neste sentido, segue-se um esquema das direções de enrolamento e lateral, atendendo a direção das fibras (Figura 65). Assim, a vermelho encontram-se as fibras de reforço do *Liner* e, a verde, as fibras da malha normal. Salienta-se, também, que a direção do enrolamento representa o comprimento do *liner* (600 metros) e a direção lateral corresponde à largura (1,6 metros).

Figura 65 – Esquema do *Liner*

Deste modo, espera-se que com estes testes, a curva de tensão Aplicada – Deslocamento seja idêntica à do gráfico apresentado de seguida (Figura 66).

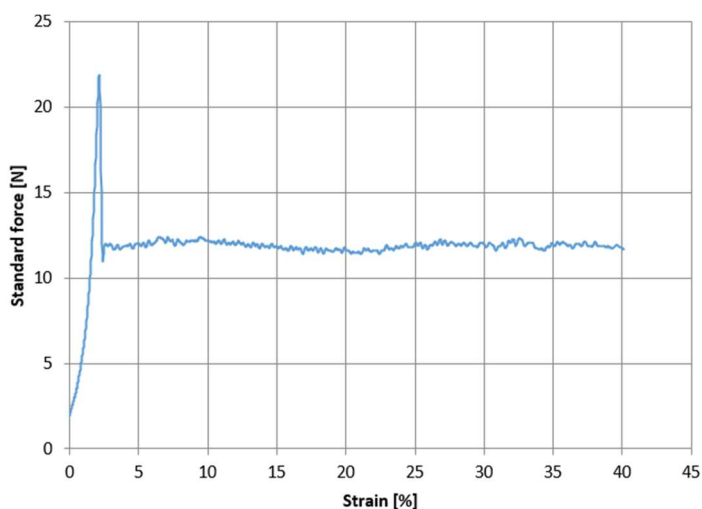


Figura 66 - Gráfico-Tipo Ensaio coeficiente de atrito

De seguida, serão apresentados os dados referentes aos ensaios realizados onde constam o valor de coeficiente de atrito estático e cinético de cada ensaio. Posteriormente, será demonstrada uma tabela que exhibe a média e desvio-padrão, para ambos os coeficientes de atrito, provenientes de cada conjunto de ensaios.

Com vista à comparação de valores, efetuaram-se testes para dois materiais (Material A e B), considerando que os mesmos foram testados em duas direções (enrolamento e lateral). Por fim, é apresentada uma tabela resumo, onde é estabelecida uma comparação entre os dois tipos de *liner*, considerando os dados recolhidos da análise anterior.

Testes entre *Liner* e Material A**Deslocamento na direção do enrolamento e *Liner* Novo:**

Tabela 12 - Resultados Teste 1

Ensaio	Coefficiente de Atrito Estático	Coefficiente de Atrito Dinâmico
1	2,44	1,70
2	2,71	1,64
3	2,39	1,63
4	2,51	1,70
5	2,82	1,83

Tabela 13 - Resumo Teste 1

	Coefficiente de Atrito Estático	Coefficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,57	1,70
Desvio Padrão	0,184	0,078

Deslocamento na direção do enrolamento e *Liner* Antigo:

Tabela 14 - Resultados Teste 2

Ensaio	Coefficiente de Atrito Estático	Coefficiente de Atrito Dinâmico
1	2,54	1,82
2	2,36	1,80
3	2,47	1,87
4	2,38	1,85
5	2,49	1,67

Tabela 15 - Resumo Teste 2

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,45	1,80
Desvio Padrão	0,075	0,081

Comparação Material A na direção enrolamento:Tabela 16 - Comparação entre *Liners* testes 1 e 2

	<i>Liner Novo</i>		<i>Liner Antigo</i>	
	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,57	1,70	2,45	1,80
Desvio Padrão	0,184	0,078	0,075	0,081

Efetuada a comparação entre um *liner* novo (Tabela 12 e Tabela 13) e um *liner* antigo (Tabela 14 e Tabela 15), denota-se que, o antigo apresenta mais estabilidade, tanto em coeficiente de atrito estático, como em dinâmico (Tabela 15). Também é passível de se observar através do menor desvio-padrão, apesar de ambos os valores de coeficiente de atrito se apresentarem bastante elevados (Tabela 16), isto é, superiores a 1 (o habitual para estes valores é se encontrarem entre 0 e 1).

Deslocamento na direção lateral e *Liner* Novo:

Tabela 17 - Resultados Teste 3

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	2,37	1,52
2	2,24	1,44
3	2,28	1,50
4	2,62	1,78
5	2,41	1,55

Tabela 18 - Resumo Teste 3

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,38	1,56
Desvio Padrão	0,149	0,132

Deslocamento na direção lateral e *Liner* Antigo:

Tabela 19 - Resultados Teste 4

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	2,59	1,44
2	2,64	1,43
3	2,46	1,72
4	2,18	1,40
5	2,79	1,80

Tabela 20 - Resumo Teste 4

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,53	1,56
Desvio Padrão	0,232	0,184

Comparação Material A direção lateral:Tabela 21 - Comparação entre *Liners* testes 3 e 4

	<i>Liner</i> Novo		<i>Liner</i> Antigo	
	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,38	1,56	2,53	1,56
Desvio Padrão	0,149	0,132	0,232	0,184

Em contrapartida, no teste lateral, os resultados do coeficiente de atrito não apresentam valores tão estáveis (Tabela 17 e Tabela 19), visto que se encontram com um maior desvio-padrão (Tabela 18 e Tabela 20), comparativamente ao teste na direção de enrolamento (Tabela 16).

Destaca-se o problema de arrancamento de *bleeders* que, durante o movimento do bloco, se traduziu numa instabilidade da curva de força aplicada, tal como é possível verificar na Figura 67.



Figura 67 - Arrancamento de *Bleeders*

De seguida, no gráfico da Figura 68, observa-se uma curva de tensão aplicada ao bloco onde ocorreu um arrancamento de um *bleeder*. Dada a diminuição da tensão ao longo do deslocamento do bloco não ser considerada normal, foi necessário repetir o teste.

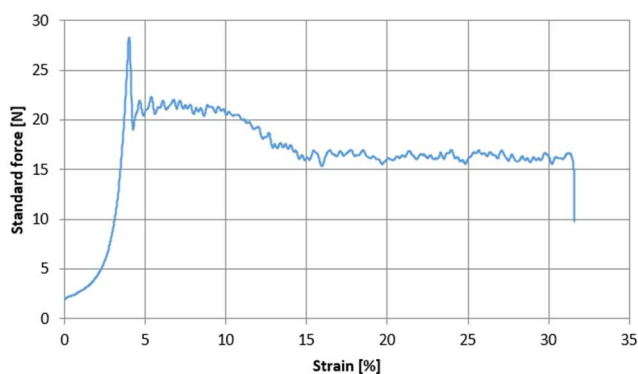


Figura 68 - Curva de força com arrancamento do *Bleeder*

Contudo, os valores elevados para o coeficiente de atrito surgiram novamente (Tabela 21). No teste executado, o valor de adesividade medido em laboratório correspondeu a 15,01. Todavia, para se obter este valor, foram realizadas cinco medições de adesividade em cinco pontos diferentes da amostra, na qual, foram desconsiderados os valores mais alto e baixo, e efetuado a média entre os três valores restantes.

Testes entre Liner e Material B

Deslocamento na direção do enrolamento e Liner Novo

Tabela 22 - Resultados Teste 5

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	2,68	1,57
2	2,72	1,55
3	2,84	1,56
4	3,22	1,74
5	2,78	1,52

Tabela 23 -Resumo Teste 5

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,85	1,59
Desvio Padrão	0,217	0,087

Deslocamento na direção do enrolamento e Liner Antigo

Tabela 24 - Resultados Teste 6

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	2,40	1,65
2	2,33	1,89
3	2,32	1,93
4	2,56	1,70
5	2,27	1,56

Tabela 25 - Resumo Teste 6

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,38	1,74
Desvio Padrão	0,113	0,160

Comparação Material B direção enrolamento

Tabela 26 - Comparação entre *Liners* Teste 5 e 6

	<i>Liner</i> Novo		<i>Liner</i> Antigo	
	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,85	1,59	2,38	1,74
Desvio Padrão	0,217	0,087	0,113	0,160

Analisando as tabelas, constata-se que, a comparação no Material B (Tabela 26) mantém-se da mesma forma que o Material A (Tabela 16), isto é, o *liner* novo apresenta um coeficiente de atrito estático mais elevado que o *liner* antigo. No entanto, no coeficiente de atrito dinâmico verifica-se exatamente o oposto (Tabela 22 e Tabela 23; Tabela 24 e Tabela 25), no qual se pressupõe que este fenómeno ocorre devido ao movimento do bloco ser perpendicular à direção da fibra de reforço do *liner*. Salienta-se que, no *liner* antigo, estas fibras encontram-se mais gastas e o próprio *liner* contém sujidade e restos de borracha, o que permite suavizar as fibras.

Deslocamento na direção lateral e *Liner* Novo

Tabela 27 - Resultados Teste 7

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	2,42	1,57
2	3,09	1,71
3	2,63	1,64
4	2,47	1,66
5	2,53	1,68

Tabela 28 - Resumo Teste 7

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,63	1,65
Desvio Padrão	0,270	0,055

Deslocamento na direção lateral e *Liner Antigo*

Tabela 29 - Resultados Teste 8

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	2,07	1,51
2	2,01	1,64
3	2,30	1,52
4	2,26	1,53
5	2,24	1,63

Tabela 30 - Resumo Teste 8

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,18	1,57
Desvio Padrão	0,127	0,067

Comparação Material B direção lateralTabela 31 - Comparação entre *Liners* Teste 7 e 8

	<i>Liner Novo</i>		<i>Liner Antigo</i>	
	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	2,63	1,65	2,18	1,57
Desvio Padrão	0,270	0,055	0,127	0,067

O material B, no ensaio de deslocamento lateral (Tabela 27 e Tabela 29), verifica-se que apresenta um maior coeficiente de atrito estático no *liner* novo, comparativamente ao antigo (Tabela 28 e Tabela 30). Em contrapartida, no Material A já se observa o contrário.

Não obstante, o comportamento dos *bleeders* é semelhante ao apresentado no teste do Material A. Verificou-se que a existência de mais *bleeders* diminuía a força necessária para deslocar o bloco. Pelos ensaios efetuados, foi possível constatar que era mais fácil retirar *bleeders* do Material B, do que do Material A.

Considerando que o valor da adesividade medido correspondeu a 15,52 (um valor relativamente próximo ao medido no Material A), não se verificou nenhuma alteração clara dos coeficientes de atrito, o que tornou possível concluir que os valores não se alteram de um material para o outro, em toda a faixa testada (*Liner* Novo vs *Liner* Antigo, Direção de enrolamento vs Direção lateral) (Tabela 31).

Um dos constrangimentos detetados durante os ensaios com material, era proveniente da forma como o bloco era colocado no *liner* a testar, que alterava a força necessária para o bloco iniciar o movimento. Assim, foi sugerido tentar colocar, em todos os testes, o bloco com a menor força possível, permitindo apenas que a massa do bloco atue.

Salienta-se que, os valores elevados de coeficiente de atrito são lógicos visto que o material apresenta adesividade. Esta adesividade torna necessário aplicar uma força superior à sua normal para o retirar da superfície onde se encontra (Lee, 2011) já que o material aparenta colar à base. Dado terem sido obtidos valores fora do espectro da literatura, isto é, valores compreendidos entre 0 e 1 (Zhang, 2016), a equipa decidiu efetuar testes entre *Liner* e *Liner*, nos quais se esperava encontrar uma potencial explicação do escorregamento entre camadas e deslizamentos laterais no enrolamento do *liner* em vazio.

Testes entre *Liner* e *Liner*

O procedimento do teste *liner* e *liner*, é idêntico ao teste efetuado com material e *liner*, isto é, é colado ao bloco uma porção de *liner*, em vez de material, na direção de enrolamento ou na direção lateral.

De uma forma semelhante, serão apresentadas tabelas com os resultados dos ensaios e, de seguida, um quadro resumo para cada conjunto de ensaios. Posteriormente, será apresentada uma tabela de comparação entre ambos os tipos de *liner* e para cada direção de movimento (enrolamento e lateral).

Deslocamento na direção do enrolamento e *Liner* NovoTabela 32 – Teste na direção de enrolamento com *Liner* novo

Ensaio	Coefficiente de Atrito Estático	Coefficiente de Atrito Dinâmico
1	0,53	0,35
2	0,55	0,35
3	0,58	0,32
4	0,58	0,33
5	0,57	0,37

Tabela 33 - Resumo do teste na direção enrolamento com *Liner* novo

	Coefficiente de Atrito Estático	Coefficiente de Atrito Dinâmico
Média	0,56	0,34
Desvio Padrão	0,022	0,017

Deslocamento na direção do enrolamento e *Liner* AntigoTabela 34 – Teste na direção de enrolamento com *Liner* Antigo

Ensaio	Coefficiente de Atrito Estático	Coefficiente de Atrito Dinâmico
1	0,67	0,47
2	0,49	0,44
3	0,56	0,45
4	0,48	0,42
5	0,47	0,42

Tabela 35 – Resumo do teste na direção de enrolamento com *Liner* Antigo

	Coefficiente de Atrito Estático	Coefficiente de Atrito Dinâmico
Média	0,53	0,44
Desvio Padrão	0,082	0,021

Comparação *Liner* vs *Liner* direção enrolamento

Tabela 36 - Comparação de testes entre *Liners* na direção de enrolamento

	<i>Liner</i> Novo		<i>Liner</i> Antigo	
	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	0,56	0,34	0,53	0,44
Desvio Padrão	0,022	0,017	0,082	0,021

Analisando a Tabela 33 e Tabela 35, não se verifica grandes discrepâncias entre *Liner* Novo e *Liner* Antigo, sendo até possível observar valores dentro do normal, ou seja, entre 0 e 1 (Tabela 32 e Tabela 34).

Sendo um teste *liner* com *liner*, o fator adesividade (propriedade do material calandrado) é removido, o que levou aos valores de coeficiente de atrito a encontrarem-se compreendidos no espectro comum (Tabela 36).

Um dos principais constrangimentos do teste, deveu-se à textura dos *liners*. O *liner* novo, por ainda não apresentar qualquer desgaste nas fibras mais grossas, nem sujidade que atenua o seu relevo, originava a que o bloco saltasse durante o movimento, resultando num valor de coeficiente de atrito estático mais elevado que no *liner* antigo. No entanto, o coeficiente de atrito dinâmico apresentou um valor mais baixo no *liner* novo, o que era previsível, devido à inutilização do tecido e inexistência de qualquer sujidade ou borracha impregnada a oferecer resistência ao movimento.

Deslocamento na direção lateral e *Liner* Novo

Tabela 37 - Teste na direção lateral com *Liner* Novo

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	0,33	0,27
2	0,34	0,27
3	0,31	0,26
4	0,29	0,26
5	0,29	0,26

Tabela 38 - Resumo do teste na direção lateral com *Liner* Novo

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	0,31	0,27
Desvio Padrão	0,021	0,005

Deslocamento na direção lateral e *Liner* AntigoTabela 39 - Teste na direção lateral com *Liner* Antigo

Ensaio	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
1	0,54	0,49
2	0,51	0,48
3	0,53	0,47
4	0,51	0,46
5	0,53	0,45

Tabela 40 – Resumo do teste na direção lateral com *Liner* Antigo

	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	0,52	0,47
Desvio Padrão	0,013	0,016

Comparação *Liner* vs *Liner* direção lateralTabela 41 – Comparação de testes entre *Liners* na direção lateral

	<i>Liner</i> Novo		<i>Liner</i> Antigo	
	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Dinâmico
Média	0,31	0,27	0,52	0,47
Desvio Padrão	0,021	0,005	0,013	0,016

No caso do deslocamento lateral (Tabela 37 e Tabela 39), é onde realmente se verifica a maior diferença nos ensaios de coeficiente de atrito realizados (Tabela 41). Salienta-se que, os valores obtidos estavam de acordo com o esperado, isto é, um *liner* novo tem menor atrito que um antigo (Tabela 41).

Tendo sido constatado que o *liner* antigo no deslocamento lateral apresenta valores idênticos ao deslocamento na direção do enrolamento, é possível observar uma aproximação à estrutura do *liner* em ambas as direções (Tabela 38 e Tabela 40). Assim, depreende-se que, com a utilização, os *liners* novos irão se aproximar em termos de propriedades aos *liners* antigos que, segundo análise de dados recentes, sofrem muito menos impacto de deslizamento entre camadas.

Os valores reduzidos de coeficiente de atrito estático e dinâmico demonstram a facilidade como o *liner* pode escorregar, principalmente, na direção lateral. Devido à simplicidade, é aconselhável que o processo de enrolamento do *liner* em vazio, possua o melhor alinhamento possível. Importa referir que o *liner* poderá não ter a capacidade de se manter na posição correta, quando a força aplicada deixe de ser aplicada perpendicularmente ao eixo do rolo, e passe a ser diagonal devido a um potencial desalinhamento.

De seguida, é apresentado o ciclo de vida de utilização do *liner* (Figura 69):

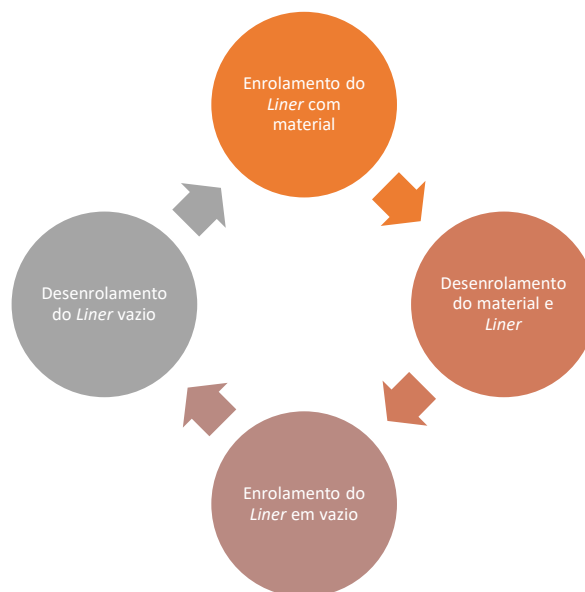


Figura 69 - Ciclo utilização de um *Liner*

Considerando que os *liners* incorrem num ciclo de utilização, é fundamental que seja centrado com auxílio de máquinas no momento de desenrolamento, com material, e enrolamento, em vazio. A ausência deste alinhamento pode não ser possível de corrigir nos postos de enrolamento onde existem sistemas automáticos de centragem.

Após várias utilizações de um determinado *liner*, o desalinhamento pode se encontrar de tal forma agravado que, não só danificará o *liner* por encostar a lateral à máquina, num dado posto de trabalho, como poderá danificar, por contaminação, o futuro material que seja armazenado.

De seguida, é apresentado a título de exemplo, na Figura 70, um *liner* novo que, por sucessivos desalinhamentos, terminou encostado à máquina danificando a sua lateral. Especificamente neste caso, o desalinhamento foi de tal forma grave que impossibilitou a utilização do garibaldo para o transporte do *liner*. Após este incidente, o *liner* é retido até ao momento em que é executada a ação de manutenção corretiva.



Figura 70 - *Liner* novo danificado por desalinhamento

Considerando que o coeficiente de atrito é uma propriedade do material, este não pode ser alterado com vista ao aumento da capacidade de momento. Assim, para aumentar a capacidade de momento do rolo, foi tomada a decisão de efetuar testes onde a força aplicada ao material no enrolamento seria aumentada, de forma a aumentar a tensão radial, dada pela equação 2.

Tendo como princípio não trabalhar no limite da máquina, e considerando que o valor máximo aceite pela mesma é de 4150 N, estabeleceu-se como força a aplicar de 4000 N (evitando assim que a força seja superior ao limite).

Neste sentido, o teste foi realizado no Material A, com a força definida a 4000 N. Este valor permite, em caso de necessidade e em situações excecionais, aumentar a força aplicada ao material.

Foram produzidos seis rolos de material (três em cada estação de enrolamento), nos quais foram utilizados apenas *liners* novos. Os resultados foram os seguintes:

- 3 rolos apresentaram deslizamentos imediatamente após a finalização do rolo;
- 2 rolos geraram desperdício apenas verificado no momento do corte.

Analisando os resultados, o teste-piloto revelou-se não viável. Assim, e tendo em conta a elevada taxa de insucesso, este nível de forças foi descartado.

Por conseguinte, foi tomada a decisão de avaliar as propriedades de *liners* antigos e novos no que diz respeito ao alongamento, no momento de rutura.

Neste sentido, foram testados provetes de *liner* na direção do enrolamento com cerca de um centímetro de largura, o que corresponde a dez fibras de tecido, e 25 centímetros de comprimento (valor necessário para a realização de testes de rutura no laboratório da empresa). Importa referir que, o teste de rutura já é efetuado na empresa não tendo sido necessário desenvolver qualquer equipamento ou modelo de teste.

Assim, foram selecionadas duas porções de *liner*: uma de um antigo e outra de um novo, sendo retirado de ambas dez provetes, considerando que o aconselhado pelo laboratório, é efetuar cinco testes bem-sucedidos, para cada material. Desta forma, com os dez provetes, não existe necessidade de parar os testes para proceder ao corte de novos provetes. Os resultados dos ensaios do *liner* antigo serão apresentados na Tabela 42, e na Tabela 43, os resultados dos ensaios do *liner* novo.

Tabela 42 - Resultado de Teste Alongamento *Liner* Antigo

Força de rutura (N)	Alongamento na rutura (%)
163,48	11,97
155,72	11,93
170,92	11,60
187,76	12,47
189,38	12,45

Tabela 43 - Resultado de Teste Alongamento *Liner* Novo

Força de rutura (N)	Alongamento na rutura (%)
307,98	26,98
255,12	26,97
282,56	26,18
297,84	26,17
306,36	24,89

Tendo em consideração que cada provete é constituído por várias fibras, é expectável que cada uma destas fibras quebre a diferentes níveis de força o que, efetivamente, foi verificado em todos os testes.

De seguida, e a título de exemplo, será apresentado um gráfico de um *liner* antigo (Figura 71) e de um *liner* novo (Figura 72). Cada pico verificado representa uma fibra partida. Importa referir que, será considerado como força de rutura o valor máximo verificado.

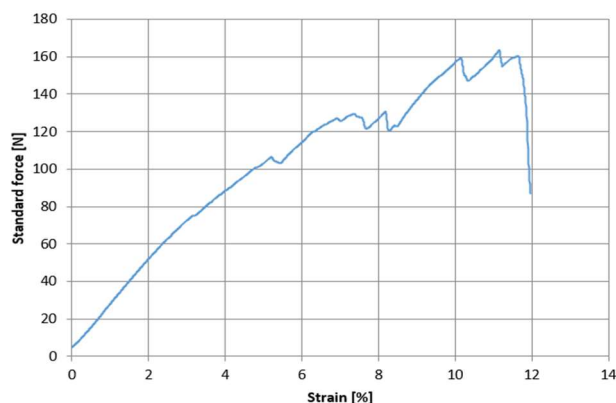


Figura 71 - Gráfico exemplo alongamento *Liner* Antigo

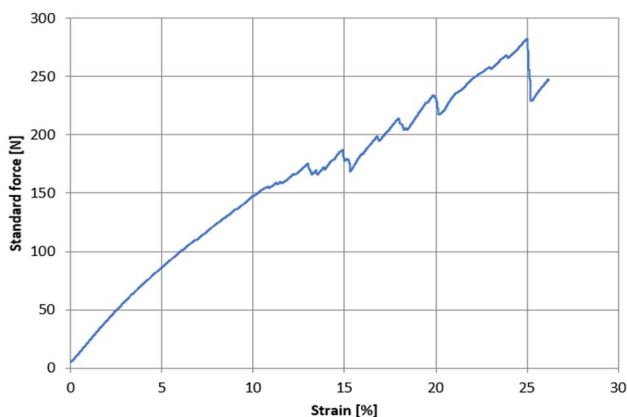


Figura 72 - Gráfico exemplo alongamento *Liner* Novo

Sendo que a estação de enrolamento pode aplicar, no máximo, uma força de tração ao *liner* de 1000 N, será analisada a ação desta força, em termos de alongamento.

Linearizando o valor médio das forças de rutura, e tendo conhecimento prévio da largura do *liner* (160 centímetros de largura), admite-se que o *liner* é composto por 160 provetes, ou seja, multiplicar-se-á o valor da rutura média por 160.

De seguida, serão apresentados os valores para o *liner* antigo (equação 5) e *liner* novo (equação 6).

$$F_{rutura\ total\ liner\ antigo} = 173,45 * 160 = 27\ 752,45\ N \quad (5)$$

$$F_{rutura\ total\ liner\ novo} = 289,95 * 160 = 46\ 392,60\ N \quad (6)$$

Considerando estes valores, o valor médio de alongamento corresponde a 12,08%, no *liner* antigo, e 26,24%, no *liner* novo. Já o valor de tração máxima do *liner* na estação de enrolamento (1000 N) resulta num alongamento de 0,44%, no caso do *liner* antigo, e de 0,57%, no *liner* novo. Ambos os valores são bastante reduzidos, no entanto, com a repetição das utilizações, a fadiga imposta ao material pode conduzir a pequenas ruturas que, conseqüentemente, se transformam em rasgos que forçosamente exigem a recolha do *liner* para manutenção.

Outro aspeto importante para estabelecer uma comparação com os valores apresentados previamente, é o alongamento do material calandrado. A especificação da rutura do material calandrado encontra-se relacionado somente com testes efetuados a uma corda.

Considerando o Material A como *BigRunner*, foram adicionalmente assumidos os valores linearizados ao total de cordas existentes na largura total do material calandrado, ou seja, 1,5 metros. Como o Material A contém 121 cordas por decímetro, e visto que a largura total do material calandrado corresponde a 15 decímetros, o total de cordas resulta num total de 1815. A força de rutura de uma corda deste material é 195 N, logo (equação 7):

$$F_{rutura\ Material\ A} = 195 * 1815 = 353\ 925\ N \quad (7)$$

Importa referir que, o laboratório informou que a tensão de rutura numa corda do Material A apresenta um alongamento de 17%.

Assim, procurou-se definir a tensão que, ao ser aplicada ao *liner*, apresenta um alongamento próximo ao alongamento do material sob tensão de trabalho. De destacar que não foi pretendido baixar a tensão de trabalho do material, uma vez que o material já se apresenta solto com tensões inferiores.

Considerando a força de trabalho do material de 3800 N e um alongamento de 0,18%, pretende-se que seja identificada uma força para o *liner* antigo e novo, que corresponda a uma deformação próxima à do material. Na Tabela 44, apresentamos várias iterações com vista a aproximar o valor do alongamento do *liner* ao do material.

Tabela 44 – Iterações para o alongamento dos *liners*

Iteração	Tensão (N)	Alongamento <i>liner</i> novo	Alongamento <i>liner</i> antigo
1	1000	0,57	0,44
2	200	0,11	0,09
3	400	0,23	0,18
4	360	0,20	0,16

Neste sentido, selecionando a força de 360 N para tração do *liner*, foi executado um teste-piloto que consistiu em produzir onze rolos, do Material A, permitindo testar diferentes *liners* novos e *liners* antigos. Do teste, recolhem-se os seguintes resultados:

- 5 rolos produziram rugas de deslizamento entre camadas visíveis antes do corte;
- 3 *liners* novos foram testados, todos com problemas visíveis;
- 2 *liners* antigos resultaram em problemas visíveis.

Devido a 45% dos *liners* deslizarem no fim do enrolamento, esta hipótese foi considerada como não viável.

Na Figura 73, é observado, através da *J-Line* (assinalada a vermelho), o fenómeno de escorregamento. Inicialmente, o traço a amarelo foi realizado do extremo do rolo (diâmetro exterior) até ao núcleo. Todavia, após a finalização do rolo, o traço decompõe-se, resultando num escorregamento verificável no ponto onde o traço deixa de ser contínuo. Assinalado a azul é possível observar, de forma clara, onde ocorreu sobreposição de *liner* e material.



Figura 73 - Exemplo de rolo com defeito e *J-Line* deformada

Este tipo de incidências, no momento de desenrolamento para corte do material, apresentam uma tendência para agravar, o que leva a submissões de desperdício mais elevadas.

3.2.4.4 Outros testes realizados

Através da observação dos rolos preparados para corte, foi verificado que o escorregamento só ocorre até meio do rolo. Neste sentido, a equipa procurou manter o acumulador em constante movimento com vista à redução das oscilações de velocidade mais severas, não visualizadas nos gráficos da Calandra 2.

Pretendia-se também compreender a possibilidade de ocorrer algum deslizamento em qualquer zona do rolo, uma vez que os pontos de escorregamento se encontravam no mesmo momento de movimento do acumulador. Assim, com o auxílio do departamento de Engenharia, procedeu-se a esta alteração.

Concluiu-se que, o tipo de defeito se manteve e os pontos de escorregamento permaneceram os mesmos. Apesar do defeito persistir, verificou-se que um dos gráficos de forças associadas ao enrolamento (medidas na unidade que puxa o material antes da estação de enrolamento) passou a apresentar um comportamento mais estável (Figura 74), comparativamente ao que ocorria previamente, onde existiam oscilações de forças inexplicáveis (Figura 75). Salienta-se que, tanto na Figura 74 como na Figura 75, a curva está representada a cor-de-rosa e ambas as imagens apresentam informação de apenas um rolo produzido.

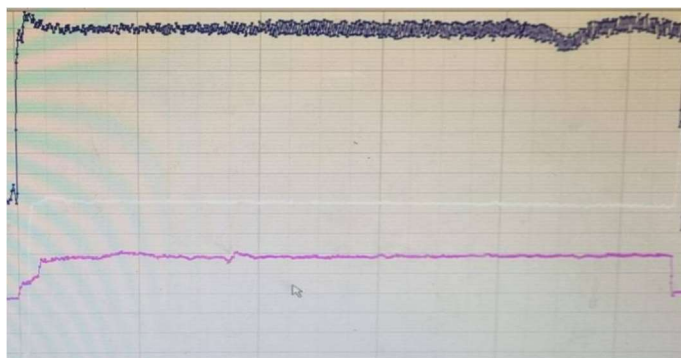


Figura 74 - Gráfico após alteração do acumulador

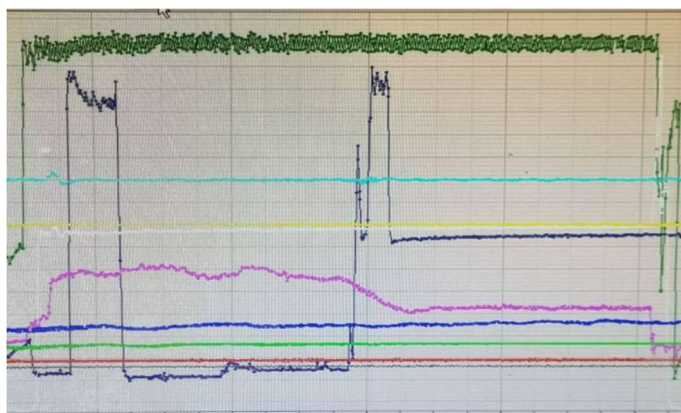


Figura 75 - Gráfico antes da alteração do acumulador

Com vista a detetar algum padrão distinto entre as ocorrências de defeitos, foi conduzido um teste-piloto com uma força aplicada ao material de 2000 N.

O teste foi efetuado num total de 17 rolos, dado que, no momento de teste não existiam *liners* novos suficientes para verificar se o problema se mantinha. Neste sentido, o teste foi alargado até que se observasse o problema repetidamente. Assim, dos 17 rolos, foi constatado o seguinte:

- 10 dos 17 rolos geraram desperdício;
- 6 *liners* novos testados e todos produziram desperdício. Os restantes eram antigos;
- Apenas se verificava a existência de defeito após o corte em 4 dos *liners* novos;
- Em todos os rolos verificou-se que o material se encontrava excessivamente solto e o fenómeno de bandeira era observado;
- O material estabilizava quando se aumentava a força em 10% (com o objetivo de atenuar o fenómeno de bandeira);
- O valor de 10% foi identificado através do método de tentativa-erro até que o material estabilizasse (os valores abaixo dessa percentagem não representavam qualquer melhoria).

O valor da força foi aumentado para os 3000N, tendo sido produzidos oito rolos, sendo que, três dos *liners* eram novos e os restantes antigos. Como resultado, constatou-se o seguinte:

- Nos três *liners* novos, foi verificado que ocorria escorregamento após a finalização do rolo;
- No *liner* antigo só foi observado algum defeito após o corte;
- O material também se encontrava relativamente solto, tendo sido testado o aumento de forças para atenuar o fenómeno de bandeira, contudo nenhum acréscimo atenuou o efeito;
- O fenómeno de bandeira só se constatou nos *liners* antigos.

Devido ao número elevado de rolos com defeito para os valores de força aplicada, também foram desconsideradas estas hipóteses.

Para se tentar identificar novos padrões de ocorrências de rugas, manteve-se a força aplicada ao material de 3800 N, e alterou-se o *taper* para outros valores. Importa referir que, todos estes testes foram realizados com *liners* novos. Neste sentido, foram definidos três valores de redução de tensão diferentes: 10%, 25% e 40%.

Com o valor de 10%, foram produzidos três rolos sendo que, dois resultaram num deslizamento logo após a finalização do rolo, e um rolo não apresentou qualquer defeito em nenhum momento de produção.

Com 25%, foram produzidos dois rolos que apresentaram deslizamento visível antes do rolo estar finalizado. O deslizamento detetado após a finalização do rolo foi gradual e ocorreu em diversos pontos (verificado através de *J-Line*).

Com *taper* de 40%, foi apenas testado um rolo e automaticamente refutada a hipótese, uma vez que o rolo apresentou defeito imediato em diversas zonas (perceptível sem necessidade de recurso à técnica *J-Line*). O rolo não se encontrava corretamente alinhado, apresentando um elevado grau do defeito de *telescope* nos últimos 100 metros de material enrolado (já encontrava substancialmente solto e o efeito de bandeira era visível por toda a sua largura).

Foi efetuado um teste-piloto, também no Material A, com diversos *liners* distintos, tanto novos como antigos. No entanto, ao contrário da teoria de *taper* que utiliza uma redução de força ao longo do enrolamento, foi tomada a decisão de aumentar a tensão ao longo do enrolamento, com um valor de 5%. Assim, estabeleceu-se como força inicial o valor de 3600 N, com um aumento de 5% desta força ao longo do enrolamento.

O teste-piloto foi realizado em oito rolos, sendo que três *liners* utilizados eram novos e cinco eram antigos. Como resultado, verificou-se que nenhum dos rolos testados originou qualquer tipo de defeito na *J-Line*, ou seja, não se detetou nenhum defeito no traço efetuado antes da finalização do rolo, mantendo-se reto após a última etapa.

Numa fase posterior ao teste, foi constatado que nenhum defeito tinha sido submetido na plataforma *online*. Considerando os resultados positivos provenientes do teste-piloto, optou-se por executar mais testes.

Durante uma semana, foram produzidos 127 rolos do Material A (quantidade total de rolos produzidos nas duas calandras). Contudo, tal como referido anteriormente, o foco de análise encontra-se na Calandra 2 por ser considerada a mais crítica desde a entrada de novos *liners*.

Num período de sete dias, antes do primeiro teste com aumento de tensão, a Calandra 2 apresentava um rácio de massa de desperdício por quilómetro de material A produzido de 4,89. Num intervalo temporal igual, após a alteração, este rácio foi reduzido para 1,61. Com a redução significativa de desperdício, foi implementado o aumento da tensão nos diversos materiais.

3.2.5 Control - Controlo

Aplicando então um aumento de tensão de enrolamento de 5% a todos os materiais produzidos na Calandra 2, foi verificado um retrocesso na evolução da métrica verificada.

Tendo em conta, novamente, apenas o material A, após a alteração a toda a faixa de materiais (num período de sete dias) a métrica da Calandra 2 aumentou para 3,47.

Observando todos os materiais, no período de implementação do aumento de tensão apenas do material A, a métrica da Calandra 2 baixou de 4,78 para 2,68 e quando se aplicou o aumento de tensão a todos os materiais verificou-se (num período de sete dias) um aumento do rácio para 3,68 kg/km produzido.

Desta forma, restituiu-se o valor de *taper* para os valores anteriores à alteração, situando-se a métrica definida para a Calandra 2 em 4,34.

Embora a métrica tivesse um valor inferior, com aumento da tensão em relação ao valor habitual de redução de tensão, verificava-se uma crescente queda no alinhamento dos *liners*, o que, por sua vez, levaria à sua degradação.

Após a implementação dos valores anteriores de *taper*, foi desenvolvida uma nova curva de forças aplicadas ao material. Nesta nova curva, procurou manter-se a força aplicada durante o período do enrolamento (onde os escorregamentos são verificados), sensivelmente, até meio do rolo, e aí iniciar uma redução de força de 5% com uma curva sinusoidal.

Com esta curva em ação, nenhuma melhoria na redução de rugas foi verificada, no entanto, foi constatada uma melhoria progressiva no alinhamento dos rolos.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

4.2 Propostas de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

O trabalho apresentado ao longo da dissertação incide sobre uma análise do processo de enrolamento de material calandrado, que consiste numa forma de armazenamento, em particular no caso da empresa, de tela têxtil. Esta tela resulta, essencialmente, da calandragem de cordas têxteis com borracha, através da impregnação de borracha num tecido constituído por cordas têxteis, distribuídas horizontalmente, com vista a alcançar a largura do produto final.

Não só o foco passava por uma análise exaustiva do processo de enrolamento, como também, num diagnóstico dos defeitos associados. Neste sentido, o principal problema de defeitos de rugas poderia ter como origem, o escorregamento entre camadas, o relaxamento dos extremos em relação à restante secção transversal do material à entrada do rolo e a deformações derivadas da própria deformação do material de acomodação da tela têxtil, o *liner*.

Considerando o percurso problemático da empresa com este processo, optou-se por utilizar uma das metodologias da estratégia Seis Sigma: o DMAIC.

A metodologia DMAIC é composta por um ciclo de cinco etapas distintas. A primeira fase inicia com a definição do problema, contextualização do processo de produção, identificação dos defeitos que se pretende reduzir e com a seleção das métricas para análise do tema em questão.

Com a primeira etapa concluída, o próximo passo consiste em analisar o problema verificado. Assim, foi constatado que o estado dos *liners* era uma das fontes de rugas.

Neste sentido, procurou-se atuar sobre determinados *liners* (identificados como críticos considerando o número de ocorrências associadas), com ações de manutenção com vista a restabelecer o seu bom estado e funcionamento. Salienta-se que, as métricas permitiram também concluir que a Calandra 2 encontra-se num estado mais crítico, comparativamente à Calandra 1.

Tendo sido verificado que as deformações existentes no início dos rolos derivavam dos velcros instalados nos terminais dos *liners*, foi analisado um novo *layout* para os mesmos. Por conseguinte, a atualização do *layout* dos velcros, permitiu que as deformações causadas pelas diferenças de diâmetro do núcleo do rolo fossem anuladas.

Por outro lado, apesar da redução, começou a ser observado um deslizamento entre camadas. Concluiu-se que o problema mencionado é proveniente da, ainda, inutilização do material, isto é, numa fase inicial, o material ainda não apresenta qualquer deformação que o torne estável, o que pode levar a escorregamentos.

Devido à reduzida quantidade de *liners* existentes, ao acentuado estado de degradação de alguns dos *liners* e à necessidade de elevada produção, foram adquiridos novos *liners*.

Neste sentido, e em concordância com o referido anteriormente, com a introdução de novos *liners* na produção, era expectável um aumento da quantidade de rugas diárias. Simultaneamente, foi observada uma redução de rugas no extremo da tela e rugas derivadas de deformações de *liner*. Contudo, também surgiram elevadas quantidades de rugas por escorregamento entre camadas.

Assim, com vista a colmatar o problema, recorreu-se à criação de um diagrama de Causa Efeito que permitiu priorizar os pontos de análise de causas raiz. Importa referir que, o diagrama foi elaborado através de uma reunião de *brainstorming*, com diversos elementos associados, direta ou indiretamente, ao processo de enrolamento.

Um dos pontos resultantes do diagrama consistia numa análise de propriedades de interação de material calandrado com *liner*, nomeadamente, testes de coeficiente de atrito e alongamento do *liner*. Dos testes, foi possível concluir o seguinte:

- O coeficiente de atrito entre um material e *liner* é bastante elevado (superior a 2) e, consideravelmente, superior aos valores usuais verificados na literatura, sendo que o valor é resultado da adesividade existente no material produzido;
- A adesividade mais elevada de um material relativamente a outro, não constitui um direto aumento do coeficiente de atrito, visto que o estático se encontra mais elevado e o dinâmico apresenta um valor inferior;
- O valor do coeficiente de atrito não é passível de alterações, uma vez que constitui uma propriedade do material, todavia, foi considerado uma nova fonte de informação visto que, até ao momento, era uma propriedade desconhecida;

Adicionalmente, foram efetuados ensaios de coeficiente de atrito entre *liner* e *liner* (simulação de enrolamento de *liner* em vazio), nos quais foi possível verificar, em termos de movimentação lateral, uma diferença entre *liner* antigo e novo. Constatou-se, também, que o *liner* novo apresenta um valor inferior de coeficiente de atrito, o que poderá justificar a facilidade de desalinhamento em enrolamentos em vazio.

Nos testes de alongamento efetuados ao *liner* novo, foi verificado um valor superior tanto de força de rutura, como de alongamento, comparativamente com o antigo.

Contudo, com a mesma força aplicada ao *liner* antigo, observou-se um maior alongamento que permitiu identificar um potencial fator para a capacidade de deformação do *liner*, no momento de enrolamento e relaxamento (acompanhando o

material enrolado), o contrário, é verificado no *liner* novo, em que são criadas folgas entre o material e o *liner*, o que potencia fenómenos de escorregamento.

Tendo em consideração a diferença de alongamentos entre material e *liner*, procurou-se assemelhar, através do equilíbrio de forças, o alongamento de ambos os materiais. Identificado um valor de forças a aplicar no *liner* (foram apenas utilizados novos), foi realizado um teste-piloto que demonstrou a permanência de deslizamentos e desperdício. Assim, os resultados obtidos permitiram desconsiderar a hipótese de aplicar um nível de forças capaz de aproximar o alongamento entre *liner* e material.

Através do diagrama de Causa Efeito, foi possível identificar a velocidade de enrolamento como uma das potenciais causas de defeito. Assim, considerou-se necessário proceder a uma análise e comparação entre ambas as máquinas, dada a criticidade da Calandra 2 comparativamente à Calandra 1.

Foi constatado que, na Calandra 2, existia um degrau na curva de velocidades do enrolamento, ao contrário do observado na Calandra 1. Com a redução da velocidade do acumulador de material foi possível eliminar a diferença, e as oscilações sem causa evidente deixaram de existir, passando a adotar um comportamento estável.

Com vista a detetar algum padrão entre as ocorrências de defeitos, foram conduzidos testes com diferentes forças, aplicando diferentes valores de tensão.

Testando uma hipótese distinta à apresentada na literatura, no que diz respeito à aplicação de forças no enrolamento, foi aplicado um aumento de força ao longo do enrolamento, no material considerado *big runner*. O teste revelou resultados favoráveis, onde nenhum rolo apresentou defeito na *J-Line*. Prosseguiu-se com mais testes, que apresentaram uma redução do rácio de massa de desperdício.

Neste seguimento, a próxima fase a executar consiste numa etapa de controlo, na qual foi aplicado um aumento de força, ao longo do enrolamento, nos diversos materiais produzidos pela empresa.

Ao serem analisados os dados, verificou-se um aumento do desperdício comparativamente aos valores apresentados no testes-piloto. Importa referir que, embora o desperdício tenha aumentado novamente, o valor da métrica era inferior ao valor habitual quando a força é reduzida. Todavia, foi igualmente notória uma degradação gradual do alinhamento dos *liners* em vazio, que poderiam originar defeitos no enrolamento.

Assim, foi tomada a decisão de aplicar uma nova estratégia de redução de forças, na qual, a força mantinha o valor durante meio rolo (fase onde os escorregamentos ocorrem) e, no restante meio rolo, a redução de forças seguia uma curva sinusoidal.

Com a nova curva de forças, os valores de desperdício diário foram restituídos para os valores prévios ao teste-piloto de aumento de força. No entanto, o estado dos *liners* é consideravelmente melhor, sendo que, a maior parte dos *liners*, quando enrolados em

vazio, se encontravam visivelmente alinhados e sem nenhum defeito de enrolamento aparente.

Na Figura 76, é apresentado um esquema sucinto do percurso previamente descrito, que envolveu a implementação da metodologia DMAIC, no contexto da empresa sobre o processo de enrolamento.

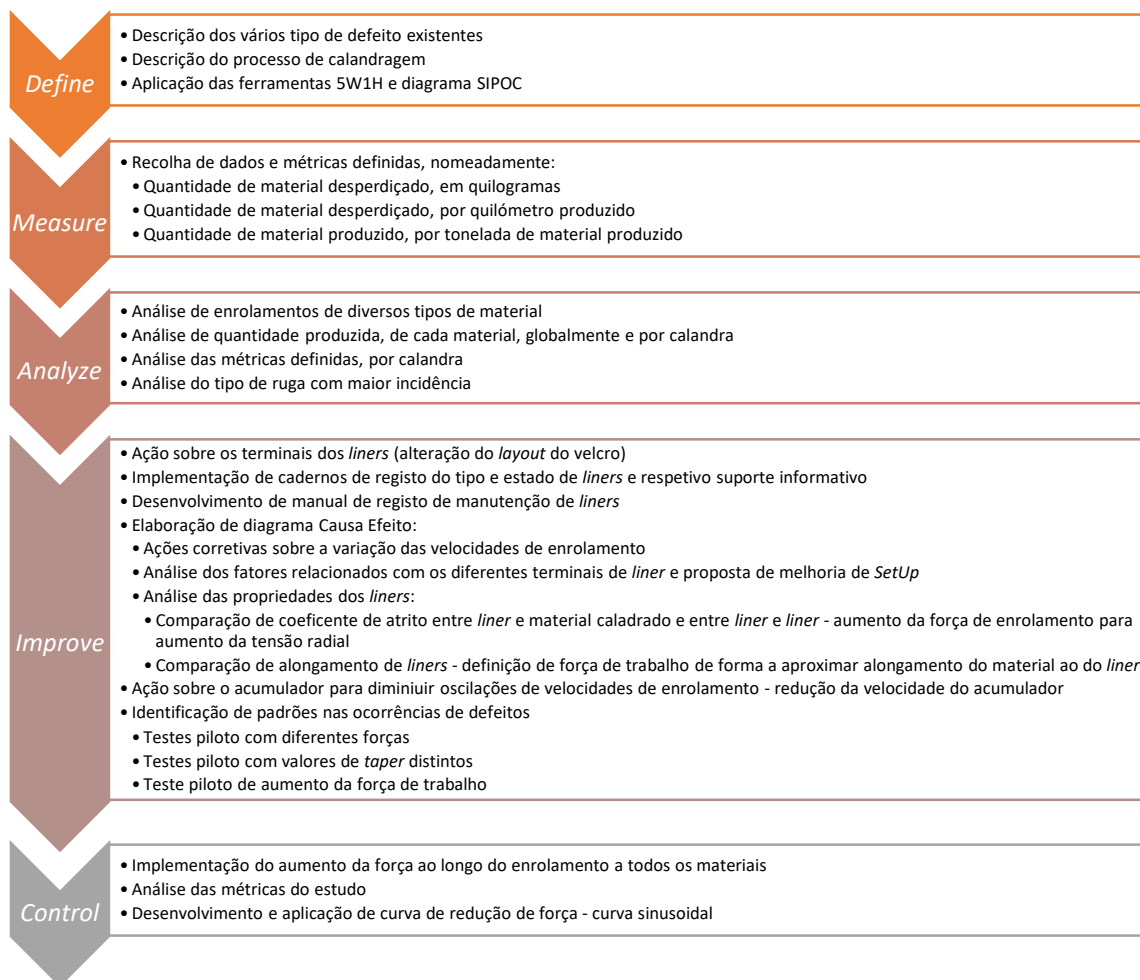


Figura 76 - Resumo da metodologia DMAIC aplicada

Com o decorrer do desenvolvimento de cada etapa da metodologia DMAIC, foi possível estabelecer conclusões referentes aos objetivos propostos inicialmente, para a presente dissertação. Assim, e considerando o que já foi mencionado ao longo do projeto, é apresentado, na Tabela 45, um quadro resumo que estabelece uma análise entre os objetivos definidos e o seu cumprimento.

Tabela 45 - Conclusão de objetivos e seu cumprimento

Objetivo	Cumprimento
Análise do processo de calandragem e enrolamento	Durante as Fases <i>Define</i> e <i>Measure</i> , da implementação da metodologia DMAIC, o processo de enrolamento foi analisado, tendo sido igualmente verificado na literatura existente. O processo de enrolamento foi devidamente examinado para verificação dos seus defeitos.
Definição de potenciais causas raiz do problema	Considerando os aspetos analisados e identificados como problemáticos, nas fases <i>Measure</i> e <i>Analyze</i> , os terminais dos <i>liners</i> foram diagnosticados e melhorados, reduzindo o problema de rugas provenientes de deformações. Não existindo uma redução da quantidade global de rugas a curto prazo, foi desenvolvido um diagrama de Causa Efeito (na fase <i>Improve</i>), onde foram consideradas outras potenciais causas e priorizadas (mediante votos dos participantes na reunião de <i>brainstorming</i>).
Análise dos pontos identificados como possíveis causas raiz	Durante a fase <i>Measure</i> , foram executados testes e alterações à Calandra 2 com vista a responder aos pontos estabelecidos no diagrama de Causa Efeito. Outros potenciais testes de máquina (que pudessem estar relacionados com o diagrama Causa Efeito) foram igualmente analisados.
Redução do desperdício diário, por defeito de rugas	Apesar da exaustiva análise e procura de informação que permitisse alcançar o objetivo, ainda se encontra por identificar a estratégia viável e adequada ao contexto da empresa para a redução de desperdício. Salienta-se que a grande lacuna presente na literatura, quanto ao enrolamento simultâneo de dois materiais, impôs-se como o principal fator de constrangimento.

O enrolamento de dois materiais com propriedades distintas, em simultâneo, apresenta uma complexidade ainda por explorar. Neste sentido, todas as teorias de enrolamento utilizadas e aplicadas, foram adaptadas de um material, para dois materiais, por forma a responder ao proposto na dissertação.

Todavia, apesar dos recursos de tempo, custo e literatura serem escassos, foi possível não só obter informação útil que se encontra alinhada com os objetivos da dissertação, como também potenciais dados para análises futuras.

Apesar de não se verificar uma redução na quantidade global de rugas, foram observadas pequenas melhorias que, conseqüentemente, conduziram a uma redução do desperdício oriundo de rugas por deformações.

A exaustiva análise sobre o processo de calandragem e enrolamento, permitiu criar sistemas acessíveis e simplificados que permitiram a obtenção de informação mais detalhada sobre os *liners* e sua evolução (que até ao momento eram inexistentes). Adicionalmente, o manual que foi desenvolvido permitiu adquirir uma perspetiva global sobre as intervenções executadas em cada *liner*.

Tendo sido criado um momento de *brainstorming*, onde existiam intervenientes das diversas etapas (diretas ou indiretas), permitiu orientar os testes a aplicar, considerando as potenciais causas raiz do problema.

O desenvolvimento da dissertação permitiu obter mais visibilidade sobre o processo de enrolamento como um todo, e em detalhe, cada etapa que o constitui. Consequentemente, possibilitou a implementação de diversos testes que conduziram a uma progressiva melhoria da compreensão do problema, tornando viável a definição de novos planos de ação, até se alcançar, no futuro, a efetiva redução do desperdício global mantendo as necessidades produtivas.

4.2 *Propostas de trabalhos futuros*

Ao longo da elaboração da presente dissertação, foi possível verificar que o estado dos *liners*, nos defeitos produzidos no material, implica uma potencial necessidade de definir um plano elaborado de manutenção preventiva. Isto é, deverão ser apresentadas e pormenorizadamente discriminadas tarefas como limpeza do tecido, aspiração de detritos, verificação de pontos rasgados e respetivo meio de reparação e, também, alinhamento em vazio.

Com vista à execução de um correto plano de manutenção preventiva, torna-se fundamental proceder à fase de digitalização das ações de manutenção corretiva, e posteriormente, de manutenção preventiva aplicada. Não obstante, é também essencial que o inventário de *liners* seja, também, digitalizado e, frequentemente, atualizado.

Importa também referir que, no inventário, deverão estar descritas propriedades do *liner*, nomeadamente, data de entrada em produção, o número de utilizações e o tipo de terminais e velcros que os constituem.

Uma possibilidade de trabalho futuro, poderá incidir sobre o número de utilizações de *liners*, isto é, para se conhecer, na íntegra, o número exato de utilizações, torna-se fulcral identificar todos as ocasiões em que o *liner* foi desenrolado com material. Neste sentido, propõe-se a implementação de um sistema automático de validação de *liners* que, no momento de desenrolamento para extração de material, registe o momento da sua utilização e o tipo de material que acomodou.

Salienta-se que, devido à possibilidade de serem realizados vários desenrolamentos até que o material seja totalmente extraído do *liner*, a validação automática do *liner* deve, também, ter em consideração o número de lote do rolo. Caso se evidencie a repetição

do número de lote para o mesmo *liner*, deverá ser contabilizada apenas uma utilização, e não o número de desenrolamentos do *liner* em causa.

Assim, seria possível analisar o número de utilizações até ao momento de entrada numa fase do ciclo de vida estável e na qual não escorreguem, nem apresentem indícios de danos por fadiga. Isto é, caracterizar, devidamente, o ciclo de vida do *liner*.

A literatura indicou o enrolamento de um material num núcleo de maior diâmetro, como um fator atenuador de rugas por deslizamento. Na sequência do referido, sugere-se explorar esta possibilidade considerando que, durante o período de análise, esta configuração não foi possível, devido à proximidade da largura do núcleo existente em *stock* com diâmetro superior ao comum, comparativamente com a largura dos *liners* de tela têxtil.

No decorrer do trabalho, foi constatado que existe a possibilidade de melhorar a centragem do terminal. Neste sentido, foi proposta a colocação de uma linha de cada lado do núcleo que permite identificar o local exato em que o terminal deverá estar inserido (o que não foi possível aplicar até ao momento, devido ao tempo disponível). Considerando o processo já definido, propõe-se a implementação deste passo para garantir que o enrolamento seria executado como o esperado e, tanto o descentramento, como a torção do *liner*, na primeira fase do ciclo de vida seria prevenido.

Um teste-piloto com um aumento de tensão ao longo do enrolamento constatou resultados positivos, o que levou a ser testado, em todos os materiais, a aplicação gradual do aumento da tensão. Todavia, e devido ao escasso recurso de tempo, não foi possível analisar a possibilidade de aplicar tensões (com aumento ou redução), consoante o material em produção. No seguimento disto, é proposto desenvolver uma detalhada análise das propriedades de cada material com vista a compreender qual a aplicação de forças que poderá resultar num decréscimo do desperdício.

Para finalizar, reitera-se a necessidade do desenvolvimento de literatura específica sobre o enrolamento, em simultâneo, de dois materiais com propriedades distintas, o que permitiria um estudo mais focado e, também, legitimar as abordagens aos diversos constrangimentos no processo.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Ahmed, N. G. S., Abohashima, H. S., & Aly, M. F. (2018). Defect reduction using Six Sigma methodology in home appliance company: A case study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018(SEP)*, 1349–1358. <http://ieomsociety.org/dc2018/papers/364.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2016). *Standard Test Method for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting (ASTM D1894)*. <https://doi.org/10.1520/D1894-14>
- Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12(2), 234–248. <https://doi.org/10.1108/14637150610657558>
- Benaddi, H., Laaz, N., Kettani, E. El, & Hannad, Y. (2021). Ontology Model for Public Services in Morocco Based on 5W1H Approach: PSOM-eGovMa. *Procedia Computer Science*, 198, 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.265>
- Bonnardel, N., & Didier, J. (2020). Brainstorming variants to favor creative design. *Applied Ergonomics*, 83, 102987. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102987>
- Brown, C. (2019). Why and how to employ the SIPOC model. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 12(3), 198–210.
- Carrasco, R., & Valenzuela, M. A. (2006). Tension control of a two-drum winder using paper tension estimation. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 42(2), 618–628. <https://doi.org/10.1109/TIA.2005.863912>
- Continental. (2021). *How a tire is made*. <https://www.continental-tires.com/car/tire-knowledge/tire-basics/tire-production>
- Costa, J. P., Lopes, I. S., & Brito, J. P. (2019). Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process. *Procedia Manufacturing*, 38, 1592–1599. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.126>
- Costa, T., Silva, F. J. G., & Pinto Ferreira, L. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 13, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.171>
- Costello, C., & Molloy, O. (2008). *Towards a Semantic Framework for Business Activity Monitoring and Management*.
- Cross, D. J. (2015). The physical origin of torque and of the rotational second law. *American Journal of Physics*, 83(2), 121–125. <https://doi.org/10.1119/1.4896574>
- Cudney, E. A., Corns, S. M., Farris, J. A., Gent, S., Grasman, S. E., & Guardiola, I. G. (2011, June 1). Enhancing undergraduate engineering education of lean methods using simulation learning modules within a virtual environment. *ASME Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--17909>
- Dailey, K. W. (2003). The Lean Manufacturing Pocket Handbook. In *DW Publishing Co* (Vol. 17, Issue 2, pp. 1689–1699). DW Pub. <http://www.leaninstitute.in/what-is-lean/history-of-lean%25Cnhttp://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705816301709%255Cnwww%25Cnhttp://www.michailolidis.gr/pdf/KAIZEN08.pdf%25Cnwww.s>

- ciencedirect.com%255Cnhttp://dx.doi.org/10.1016/j.procir.201
- De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- Dehui, wu, Chen, C., Xiumiao, Y., Xuesong, li, & Yimin, H. (2014). Optimization of taper winding tension in roll-to-roll web systems. *Textile Research Journal*, 84(20), 2175–2183. <https://doi.org/10.1177/0040517514538697>
- ETRMA. (2021). *ETRMA Members' Tyre Sales in Europe: Q2-2021 confirms the positive evolution in all product lines*.
- ETRMA. (2022). *Press release ETRMA Members' Tyre Sales in Europe: Q1-2022 a trend to watch in the following months*.
- EU: *tire sales by vehicle type 2012-2021*. (2022). <https://www.statista.com/statistics/411281/european-heavy-and-light-vehicle-tire-sales/>
- Europe Tire Market 2028 Size, Share, Trend & Forecast | BlueWeave*. (2022). <https://www.blueweaveconsulting.com/report/europe-tire-market>
- Fraden, J. (2010). Handbook of Modern Sensors. In *Handbook of Modern Sensors*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6466-3>
- Good, J. K. (2005). *Review: Winding and Unwinding Webs: A Review of the State of the Science*. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/review-winding-and-unwinding-webs-a-review-of-the-state-of-the-science-in-2005/>
- Good, J. K., Beisel, J. A., & Yurtcu, H. (2009). INSTABILITY OF WEBS: THE PREDICTION OF TROUGHS AND WRINKLES. *Trans. of the XIVth Fund. Res. Symp. Oxford*, 517–556. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/instability-of-webs-the-prediction-of-troughs-and-wrinkles/>
- Gupta, S., Kapil, S., & Sharma, M. (2018). Improvement of laboratory turnaround time using lean methodology. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 31(4), 295–308. <https://doi.org/10.1108/IJHCQA-08-2016-0116>
- Henderson, K. M., & Evans, J. R. (2000). Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company. *Benchmarking: An International Journal*, 7(4), 260–282. <https://doi.org/10.1108/14635770010378909>
- Kaushik, P., Khanduja, D., Mittal, K., & Jaglan, P. (2012). A case study: Application of Six Sigma methodology in a small and medium-sized manufacturing enterprise. *The TQM Journal*, 24(1), 4–16. <https://doi.org/10.1108/17542731211191186>
- Kumar, M., Jiju Antony, F., & Madu, C. N. (2007). Winning customer loyalty in an automotive company through Six Sigma: A case study. *Quality and Reliability Engineering International*, 23(7), 849–866. <https://doi.org/10.1002/qre.840>
- Kuribayashi, K., & Nakajima, K. (1985). ACTIVE DANCER ROLLER SYSTEM FOR TENSION CONTROL OF WIRE AND SHEET. *IFAC Proceedings Series*, 1747–1752. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)61227-8](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)61227-8)
- Lee, C. (2018). Stresses and Defects in Roll Products: A Review of Stress Models and Control Techniques. In *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* (Vol. 19, Issue 5, pp. 781–789). SpringerOpen. <https://doi.org/10.1007/s12541-018-0094-z>
- Lee, C., Kang, H., Kim, H., & Shin, K. (2009). Effect of taper tension profile on the telescoping in a winding process of high speed roll to roll printing systems. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 23(11), 3036–3048.

- <https://doi.org/10.1007/s12206-009-0906-2>
- Lee, J. W. (2011). Supersonic Nano-Particle Beam Technique for Removing Nano-Sized Contaminant Particles from Surfaces. In *Developments in Surface Contamination and Cleaning - Methods for Removal of Particle Contaminants* (pp. 1–30). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-7885-4.10001-6>
- Lu, Y., Miller, A. A., Hoffmann, R., & Johnson, C. W. (2016). Towards the automated verification of weibull distributions for system failure rates. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9933 LNCS, 81–96. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45943-1_6
- Malyshev, V. N. (2014). Tribological aspects in friction stir welding and processing. In *Advances in Friction-Stir Welding and Processing* (pp. 329–386). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857094551.329>
- Martins, R., Pereira, M. T., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Silva, F. J. G. (2020). Warehouse operations logistics improvement in a cork stopper factory. *Procedia Manufacturing*, 51, 1723–1729. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.240>
- McDonald, D. (2014). Crepe wrinkle formation during reeling and winding. *J-FOR*, 4, 22.
- McDonald, J. D., & Menard, A. (1999). Layer-to-layer slippage within paper rolls during winding. *Journal of Pulp and Paper Science*, 25(4), 148–153. https://www.researchgate.net/publication/291079549_Layer-to-layer_slippage_within_paper_rolls_during_winding
- Monteiro, C., Ferreira, L. P., Fernandes, N. O., Sá, J. C., Ribeiro, M. T., & Silva, F. J. G. (2019). Improving the machining process of the metalworking industry using the lean tool SMED. *Procedia Manufacturing*, 41, 555–562. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.043>
- Nallusamy, S., & Adil Ahamed, M. A. (2017). Implementation of lean tools in an automotive industry for productivity enhancement - A case study. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, 175–185. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.29.175>
- Neves, P., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., Gouveia, A., & Pimentel, C. (2018). Implementing Lean Tools in the Manufacturing Process of Trimmings Products. *Procedia Manufacturing*, 17, 696–704. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.119>
- Pagilla, P. R., Dwivedula, R. V., Zhu, Y., & Perera, L. P. (2003). Periodic tension disturbance attenuation in web process lines using active dancers. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME*, 125(3), 361–371. <https://doi.org/10.1115/1.1590678>
- Ren, Y., Kandadai, B., & Good, J. K. (2013). *CENTER WINDING VERSUS SURFACE WINDING: THE EFFECT OF WINDER TYPE AND WEB MATERIAL PROPERTIES ON WOUND ROLL STRESSES*. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/center-winding-versus-surface-winding-the-effect-of-winder-type-and-web-material-properties-on-wound-roll-stresses/>
- Ribeiro, P., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Pereira, M. T., & Santos, G. (2019). The impact of the application of lean tools for improvement of process in a plastic company: A case study. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 765–775. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.104>
- Rodgers, M., & Oppenheim, R. (2019). Ishikawa diagrams and Bayesian belief networks for continuous improvement applications. *TQM Journal*, 31(3), 294–318. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2018-0184>

- Roisum, D. R. (2016). Web Handling and Winding. In *Multilayer Flexible Packaging: Second Edition* (pp. 257–278). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37100-1.00016-8>
- Roman, J., Bruggeman, K., & Juwet, M. (2020). Control system for film processing and rewinding equipment. *Procedia Manufacturing*, *51*, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.034>
- Santos, R. F. L., Silva, F. J. G., Gouveia, R. M., Campilho, R. D. S. G., Pereira, M. T., & Ferreira, L. P. (2018). The Improvement of an APEX Machine involved in the Tire Manufacturing Process. *Procedia Manufacturing*, *17*, 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.098>
- Selvi, K., & Majumdar, R. (2014). Six Sigma-Overview of DMAIC and DMADV. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)*, *2*(5), 16–19. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.674.8789&rep=rep1&type=pdf>
- Senin, M. S., Shahidan, S., Leman, A. S., & Hannan, N. I. R. R. (2016). Analysis of Physical Properties and Mineralogical of Pyrolysis Tires Rubber Ash Compared Natural Sand in Concrete material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *160*(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/160/1/012053>
- Sirajudeen, R. S., & Aravind Krishnan, K. (2022). Application of lean manufacturing using value stream mapping (VSM) in precast component manufacturing: A case study. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.159>
- The Council for Six Sigma Certification. (2018). *Six Sigma: A Complete Step-by-Step Guide*. The Council for Six Sigma Certification.
- The Importance of Load Cells (transducers)*. (2022). <https://www.montalvo.com/article-library/importance-load-cells-transducers/>
- The Ultimate Guide to Poka-Yoke | Tulip*. (2021). <https://tulip.co/ebooks/poka-yoke/>
- Uniroyal. (2021). *Tyre components*. <https://www.uniroyal-tyres.com/car/tyre-guide/tyre-knowledge/tyre-components>
- Varzakas, T. (2015). HACCP and ISO22000: Risk Assessment in Conjunction with Other Food Safety Tools Such as FMEA, Ishikawa Diagrams and Pareto. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 295–302). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00320-2>
- Viteri Moya, J., Matute Déleg, E., Viteri Sánchez, C., & Rivera Vásquez, N. (2016). Implementación de manufactura esbelta en una empresa alimenticia. *Enfoque UTE*, *7*(1), 1–12. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.83>
- Wilson, L. (2010). How to Implement Lean Manufacturing. In *McGraw-Hill*. McGraw-Hill.
- Yu, H., Poh, E., Good, J. K., & Lu, H. (2007). *A PSEUDO 3D VISCOELASTIC WINDING MODEL*. Oklahoma State University.
- Zhang, H. (2016). Surface Characterization Techniques for Polyurethane Biomaterials. In *Advances in Polyurethane Biomaterials* (pp. 23–73). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100614-6.00002-0>

ANEXOS

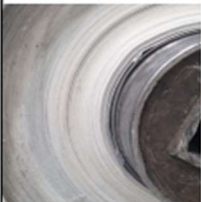







6.1 Ajuda visual para caracterização de unidades de armazenamento

6.2 Diagrama Causa Efeito


6 ANEXOS

6.1 Ajuda visual para caracterização de unidades de armazenamento

DEP - Ajuda visual para caracterização de unidades de armazenamento.

Tipo de Liner		Velcro		Alinhamento	
<p>Novo:</p>  <p>Cor Clara, aspeto de novo (conjunto de liners mais recentes)</p>	<p>Novo:</p>  <p>Novo layout, apenas com velcros horizontais</p>	<p>Antes (vazio)</p>  <p>OK</p>	<p>Após (enrolado)</p>  <p>OK</p>	<p>Lateral do liner completamente alinhada. Pequeno desalinhamento é considerado NOK</p>	
<p>Velho:</p>  <p>Cor mais escura, aparência desgastada</p>	<p>Velho:</p>  <p>Layout antigo, com velcros na direção do liner (curtos ou compridos)</p>	<p>NOK</p> 	<p>NOK</p> 	<p>Qualquer pequeno desalinhamento verificado na lateral</p>	

Estado do liner	
NOK	Liners rasgados próximo do velcro ou emendas abertas, rasgos localizados, esfiapados, rugas ou deformações excessivas devido aos velcros.
	

Estado do velcro	
NOK	Velcros sem número ou nº não perceptível, com rasgos, laterais danificadas, velcro descolado do tecido ou com porções em falta, porta etiquetas danificado ou deformado
	

Pedro Neves -21/07/2022



6.2 Diagrama Causa Efeito

