



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

“APLICAÇÕES DE INSTRUMENTOS DE GESTÃO LEAN PARA A MELHORIA DA QUALIDADE NUMA EMPRESA DE TRANSFORMAÇÃO DE MADEIRA”

Tiago Miguel de Jesus Brito

Relatório de Estágio

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Engenheiro Rui Manuel da Silveira Araújo
Professora Doutora Maria Odete Monteiro Lopes

Janeiro de 2024



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

“APLICAÇÕES DE INSTRUMENTOS DE GESTÃO LEAN PARA A MELHORIA DA QUALIDADE NUMA EMPRESA DE TRANSFORMAÇÃO DE MADEIRA”

Tiago Miguel de Jesus Brito

Relatório de Estágio

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Engenheiro Rui Manuel da Silveira Araújo
Professora Doutora Maria Odete Monteiro Lopes

Janeiro de 2024

*“O sucesso não é definitivo, o fracasso não é fatal, é a coragem de
continuar que conta.”*

Winston S. Churchill

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha esposa, por tantos dias da nossa vida onde teve de ser mãe e pai dos nossos pequenos, por nunca desistir de mim e de nós, o meu mais profundo obrigado.

À minha família, pelo carinho e motivação que sempre me transmitiram.

Imprescindível seria não agradecer todos os conhecimentos transmitidos e cooperação tão importantes dos meus professores orientadores, Rui Manuel da Silveira Araújo e Maria Odete Monteiro Lopes.

Aos meus orientadores e colegas no estágio na empresa Sonae Arauco, pela transmissão de conhecimentos, disponibilidade e apoio que tornaram este caso de estudo uma experiência singular e enriquecedora.

A realização desta jornada só foi possível com a dedicação, colaboração e apoio de várias pessoas, que de forma direta ou indireta assim contribuíram e a quem não podia deixar de expressar os meus agradecimentos.

A todos, muito OBRIGADO!

RESUMO

A filosofia de produção “*Lean Manufacturing*” é uma filosofia de gestão orientada para a maximização do valor, através da consistente procura de redução de disfunções de produção. Para tal, serve-se de um conjunto de métodos, técnicas e ferramentas que estão orientadas para a otimização de processos, bem como para a remoção de atividades e recursos que não acrescentam valor, conjuntamente com o envolvimento de toda a estrutura organizacional na permanente melhoria de desempenho. Depois de ingressar no patamar de funções de gestão da produção, foi implícito trabalhar com análises de causa raiz, pois este tipo de análise já havia possibilitado uma melhoria significativa, quer no processo produtivo, quer na qualidade do produto acabado.

O presente relatório de estágio incidiu no estudo da produção do produto 9T1, na Prensa 2, tendo por base a implementação de ferramentas *Lean* e *Seis Sigma* para a melhoria de qualidade, sustentada na utilização do ciclo DMAIC, no grupo Sonae Arauco, na unidade fabril de Mangualde.

Inicialmente foram recolhidos dados sobre o estado inicial dos processos e ferramentas de melhoria contínua, com o foco principal no entendimento do processo e na identificação das não conformidades de qualidade com maior potencialidade para melhoria. Aplicou-se o ciclo DMAIC em conjunto com um grupo de técnicas de análise e ferramentas de qualidade para sustentar a transformação necessária em cada fase.

O caso de estudo indicou que o uso das ferramentas *Lean* permitiu obter resultados mais sólidos, quando se implementam medidas mais compreensíveis a toda a estrutura organizacional. Foi irrefutável que o relatório A3 constituiu o método sequencial de trabalho que permitiu identificar as variáveis que influenciam o processo de análise das não conformidades e perceber a importância e o impacto que a gestão de operações *Lean* e *Seis Sigma* têm numa organização. Este estudo aportou valor para a empresa onde foi aplicado, pois permitiu atingir os objetivos delineados, aumentando assim a eficácia, a eficiência e a competitividade da unidade industrial.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*; MDF, Análise de causa raiz; DMAIC; Relatório A3;

ABSTRACT

The production philosophy "*Lean Manufacturing*" is a management philosophy oriented towards the maximization of value, through the consistent search for the reduction of production dysfunctions. For such, it uses a set of methods, techniques and tools that are oriented towards the optimization of processes, as well as the removal of activities and resources that do not add value, together with the involvement of the entire organizational structure in the permanent improvement of performance. After entering the level of production management functions, it was implicit to work with root cause analyses, as this type of analysis had already enabled a significant improvement, both in the production process and in the quality of the finished product.

This internship report focused on the study of the production of the 9T1 product, in Press 2, based on the implementation of Lean and Six Sigma tools for quality improvement, supported using the DMAIC cycle, in the Sonae Arauco group, in the manufacturing unit from Mangualde.

Initially, data was collected on the initial state of processes and continuous improvement tools, with the focus on understanding the process and identifying quality non-conformities with greater potential for improvement. The DMAIC cycle was applied together with a group of analysis techniques and quality tools to support the necessary transformation in each phase.

The case study indicated that the use of Lean tools allowed us to obtain more solid results, when measures that are more understandable to the entire organizational structure are implemented. It was irrefutable that the A3 report constituted the sequential work method that made it possible to identify the variables that influence the non-conformity analysis process and understand the importance and impact that Lean and Six Sigma operations management have on an organization. This study landed value for the company where it was applied, as it allowed the objectives outlined to be achieved, thus increasing the effectiveness, efficiency, and competitiveness of the industrial unit.

Keywords: *Lean Manufacturing*; MDF, Root cause analysis; DMAIC; A3 Report.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE TABELAS / QUADROS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos da Investigação	3
1.3 Abordagem Metodológica	4
1.4 Estrutura da Dissertação	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Filosofia <i>Lean</i>	7
2.2 Pilares do <i>Lean</i>	8
2.3 Os Princípios do Pensamento <i>Lean</i>	10
2.3.1 Os oito principais desperdícios	11
2.4 Ferramentas <i>Lean</i>	13
2.4.1 Mapeamento de fluxo de valor	13
2.4.2 Sistema <i>Pull</i>	14
2.4.3 Troca rápida de ferramentas	16
2.4.4 Padronização	17
2.4.5 Ferramenta 5S's	18
2.4.6 Gestão visual	19
2.4.7 Ferramenta 5P's	19

2.4.8 Diagrama de Ishikawa.....	20
2.4.9 Gestão pela qualidade total	21
2.4.10 Manutenção produtiva total	22
2.5 Metodologia DMAIC	23
2.6 Relatório A3	24
2.7 <i>Seis Sigma</i>	25
3. ESTADO DA ARTE DE FIBRAS DE MADEIRA DE MÉDIA DENSIDADE	27
3.1 Caracterização do MDF	27
3.2 Matéria-prima Lenhosa.....	28
3.2.1 Caraterização química.....	29
3.3 Matéria-prima Lenhosa em Portugal para Produção de MDF.....	30
3.3.1 Caraterização da madeira de pinho bravo	31
3.3.1.1 Composição química.....	31
3.3.1.2 Propriedades mecânicas	32
3.3.2 Caraterização da madeira de eucalipto	32
3.3.2.1 Composição química.....	32
3.3.2.2 Propriedades mecânicas	32
3.4 Outras Matérias-primas Usadas na Produção de MDF	33
3.4.1 Resinas	33
3.4.1.1 Resina de ureia-formaldeído	34
3.4.1.2 Resina de melamina-ureia-formaldeído	35
3.4.1.3 Resina fenólica.....	35
3.4.2 Parafina	36
3.5 Influência das Variáveis de Produção e do Produto nas Características do MDF	37
3.6 Variáveis de Produção	37
3.6.1 Massa volúmica da madeira e tipos de fibra	38
3.6.2 Teor de humidade da estilha	39

3.6.3 Resinas	39
3.6.4 A desfibração	40
3.6.5 O colchão na prensagem	41
3.6.6 A prensagem	42
3.7 Variáveis de Produto.....	42
3.7.1 Massa volúmica do MDF.....	42
3.7.2 Perfil de densidade	43
4. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA SONAE ARAUCO	45
4.1 Sonae Arauco.....	45
4.1.1 Visão	46
4.1.2 Missão	46
4.1.3 Valores	46
4.2 Sonae Arauco Mangualde.....	46
4.2.1 Principais produtos.....	47
4.2.2 Organograma.....	48
4.2 Descrição do Processo Produtivo	49
4.2.1 Fluxograma de produção.....	49
4.2.2 Descasque da madeira e produção de estilha	49
4.2.3 Crivagem e limpeza da estilha	50
4.2.4 Cozimento da estilha e produção de fibra.....	52
4.2.5 Adição de cola e aditivos	53
4.2.6 Secagem, formação do colchão e pré-prensagem	53
4.2.7 Prensagem	54
4.2.8 Pré-corte e estabilização	54
4.2.9 Lixagem, corte e embalagem	55
4.3 Análise face à situação em matéria de qualidade e metodologia <i>Lean</i> da Sonae Arauco Mangualde	56

5.	CASO DE ESTUDO	59
5.1	Caracterização do Caso de Estudo.....	59
5.2	Aplicação da Metodologia DMAIC	59
5.2.1	Fase 1 - Definir	60
5.2.1.1	Definição da equipa	61
5.2.1.2	Ações imediatas	61
5.2.1.3	Descrição do problema	62
5.2.2	Fase 2 - Medir	63
5.2.3	Fase 3 - Analisar	64
5.2.4	Fase 4 - Implementar	72
5.2.5	Fase 5 - Controlar.....	74
6.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	76
7.	CONCLUSÃO	78
7.1	Conclusão do Caso de Estudo	78
7.2	Perspetivas Sobres Trabalhos de Melhorias Futuras	79
	REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS	80
	APÊNDICES	i
	APÊNDICE A	ii
	<i>Troubleshooting</i> Preenchido	ii
	APÊNDICE B	vii
	<i>Template A3 Report</i> Preenchido	vii
	APÊNDICE C	ix
	Standard de retirada de placa para ensaio LABORATÓRIO ou testemunho	ix
	APÊNDICE D	xi
	Medida de Contenção Para Estabilização da Placa Para Ensaio Laboratorial	xi
	APÊNDICE E.....	xiii
	Standard de Correção do Perfil de Densidade.....	xiii

ANEXOS.....	xv
ANEXO A.....	xvi
Ensaio Laboratoriais do Produto 9T1 de 01/01/2022 a 01/09/2023	xvi
ANEXO B	xviii
Atualização da Ficha Técnica do Produto 9T1	xviii

ÍNDICE DE TABELAS / QUADROS

Tabela 1-Definição da equipa	61
Tabela 2-Ações imediatas	61
Tabela 3-Descrição do problema.....	62
Tabela 4-Descrição dos equipamentos críticos	63
Tabela 5-Valores laboratoriais	63
Tabela 6-Visualização de ocorrências por tempo de duração	64
Tabela 7-Descrição dos acontecimentos da produção sequencialmente	64
Tabela 8-6M, origem ou não deteção.....	65
Tabela 9-Verificação de causas raiz.....	66
Tabela 10-Justificação de modos de falha não retidas	67
Tabela 11-Modos de falha retidos com análise 5 porquês	67
Tabela 12-Plano de monitorização e medição.....	69
Tabela 13-Plano de ações.....	72
Tabela 14-Cronograma do plano de ações	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Evolução da produção de MDF instalada na Europa até 2021	2
Figura 2-Distribuição percentual das áreas de utilização do MDF em 2021	3
Figura 3-Ciclo DMAIC	4
Figura 4-Estrutura do sistema de produção da Toyota.....	9
Figura 5-Diagrama de Ishikawa	20
Figura 6-Ciclo DMAIC	23
Figura 7-Ciclo PDCA.....	24
Figura 8-Template de um A3 Report	25
Figura 9-Representação esquemática dos constituintes da madeira.....	29
Figura 10-Rolaria de pinho	30
Figura 11-Rolaria de eucalipto	30
Figura 12-Falheiro de pinho proveniente de serrações	31
Figura 13-Estilha proveniente de serrações	31
Figura 14-Variáveis de produção e de produto nas características do MDF	37
Figura 15-Logotipo da Empresa Sonae Arauco	45
Figura 16-Sede Sonae Indústria	45
Figura 17-Sonae Arauco Mangualde.....	46
Figura 18-Organograma Sonae Arauco Mangualde.....	48
Figura 19-Fluxograma representativo do processo produtivo do MDF.....	49
Figura 20-Destroçador.....	50
Figura 21-Crivo de estilha.....	50
Figura 22-Tambor magnético.....	51
Figura 23-Tambor lavador	51
Figura 24-Tremonha de estilha	52
Figura 25-Pré-aquecedor e desfibrador	52
Figura 26-Formação do colchão de fibra	53
Figura 27-Colchão após pré-prensa.....	54
Figura 28-Armazém de produto semiacabado	55
Figura 29-Embalagem final.....	55
Figura 30-Quadro de posto do Lukki (Sistema para armazenar paletes no armazém de semiacabado).....	58
Figura 31-Ferramentas utilizadas em cada fase da metodologia DMAIC	60

Figura 32-Diagrama de Ishikawa	65
Figura 33-Perfil de densidade 9T1	70
Figura 34-Estrutura de estabilização de temperatura	73
Figura 35-Marcação da área para a operação de estabilização	73
Figura 36-Alerta de posto.....	74
Figura 37-Sistema de estabilização de temperatura	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Ano de publicação dos artigos	7
Gráfico 2-Produção anual por tipo de produto	48
Gráfico 3-1ªQualidade mensal Sonae Arauco Mangualde	56
Gráfico 4-Produção total do produto AB0T1	59
Gráfico 5-Produção por prensa AB0T1 9mm	60
Gráfico 6-Qualidade produção prensa 2.....	61
Gráfico 7-Tendência da resistência interna vs HLF	71
Gráfico 8-Produção de espessura 9mm/mês VS percentagem de não qualidade.....	77

LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS

DMAIC - Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar

HLF – Humidade da Linha de Formação

IB – “*Internal boundary*” Resistência Interna

ISO – Organização Internacional de Standardização

JIT – “*Just In Time*” Momento Certo

MDF - “*medium density fibers*” Fibra de Média Densidade

NOK - Não está em ordem

OK - Está em ordem

OEE – “*Overall Equipment Effectiveness*” Eficácia geral do equipamento

PDCA - Planear, Fazer, Controlar e Agir

PMM -Plano de Monitorização e Medição

RCA – “*Root Cause Analysis*” Análise de Causa Raiz

SGQ - Sistemas de Gestão da Qualidade

SMED – “*Single Minute Exchange of Die*” Mudança de *setup* num minuto

SOP – “*Standard Operating Procedures*” Procedimentos Operacionais Standardizados

TPM – “*Total Production Management*” Gestão Total da Produção

TPS – “*Toyota Production System*” Sistema de Produção Toyota

TQM – “*Total Quality Management*” Gestão de Qualidade Total

UF - Ureia-Formaldeído

VSM – “*Value Stream Mapping*” Mapeamento de Fluxo de Valor

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A filosofia de produção “*Lean Manufacturing*” teve origem após a Segunda Guerra Mundial no Japão, na empresa Toyota Motor Co., pelos engenheiros Taichii Ohno e Shigeo Shingo (Elafri et al., 2022a). Estes decidiram incorporar alguns dos princípios e métodos utilizados no fluxo produtivo da Ford (produção em massa) bem como outros conceitos relacionados com as práticas de controlo de qualidade iniciadas por Ishikawa, Edwards Deming e Joseph Juran, e criaram, assim, o *Toyota Production System* (TPS). *Lean* é, pois, uma filosofia de gestão orientada para a maximização de valor, através da consistente procura da redução de desperdícios, como tal, compõe-se de um conjunto de técnicas e ferramentas orientadas para a simplificação e otimização dos processos, bem como para a remoção de atividades e recursos que não acrescentam valor, promovendo o envolvimento de todos os setores das organizações na procura constante da melhoria do desempenho. A filosofia *Lean*, não se limitando aos processos de trabalho, procura abranger todas as áreas de ação de uma estrutura organizacional, quer esta se enquadre no âmbito industrial ou nos serviços (Cunha, 2017).

A filosofia *Lean* tem tido o seu âmbito de aplicação sucessivamente aumentado e atualmente as suas técnicas são aplicadas em diversas áreas como a saúde, educação, serviços, entre outras. Na indústria portuguesa, este termo tem vindo a popularizar-se, mas é sobretudo nas grandes indústrias e nas empresas multinacionais que mais se faz notar a adoção e a implementação de ferramentas importantes no apoio da melhoria da eficiência produtiva.

Este documento apresenta o relatório de estágio desenvolvido na empresa Sonae Arauco, unidade fabril de Mangualde, empresa que surgiu da fusão de dois grupos, Grupo Sonae Indústria e Grupo Arauco, e que consistiu na aplicação de metodologias de *Lean Manufacturing* para a melhoria da qualidade naquela indústria de transformação de madeira.

Com uma alma industrial, a Sonae Arauco é uma das maiores empresas do mundo de soluções à base de madeira. O empenho da empresa no desenvolvimento sustentável é confirmado pela certificação florestal, a implementação de um modelo bioeconómico circular e a integração permanente de madeira reciclada no processo industrial.

Desde a sua criação, a Sonae Arauco tem-se concentrado no desenvolvimento de soluções de madeira sustentáveis com elevado valor acrescentado para mobiliário, design de interiores e construção, desde a solução mais standard à mais exigente do ponto de vista técnico. Dos produtos decorativos Innovus® aos produtos Core & Technical® e soluções AGEPAN®

SYSTEM, a Sonae Arauco detém um portefólio versátil, com uma vasta gama de aplicações (Arauco, 2023).

A unidade fabril de Mangualde é responsável pela produção de painéis de madeira de MDF (fibras de média densidade), com um volume de produção de 275489 m³/ano tendo como principal destino o mercado ibérico.

O MDF é o painel com maior potencial de crescimento no mercado mundial, pois é um substituto da madeira natural, razão pela qual é amplamente utilizado na indústria de mobiliário. Segundo o relatório do European Panel Federation (EPF 2022), a produção de MDF na Europa tem vindo a crescer de ano para ano, tendo atingido em 2021 uma produção de 12,9 milhões de m³ (Figura 1). Este crescimento é motivado pela indústria de mobiliário, que atualmente representa cerca de 57% da produção de MDF (Figura 2).

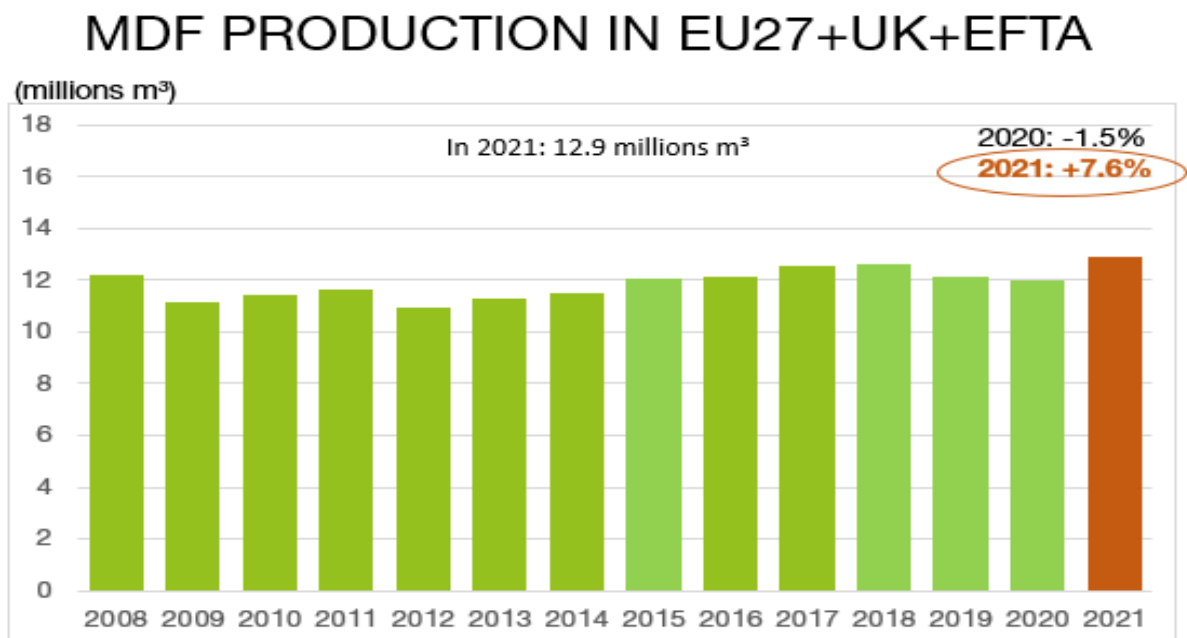


Figura 1-Evolução da produção de MDF instalada na Europa até 2021

Fonte: Adaptado de *European Panel Federation* (2023)

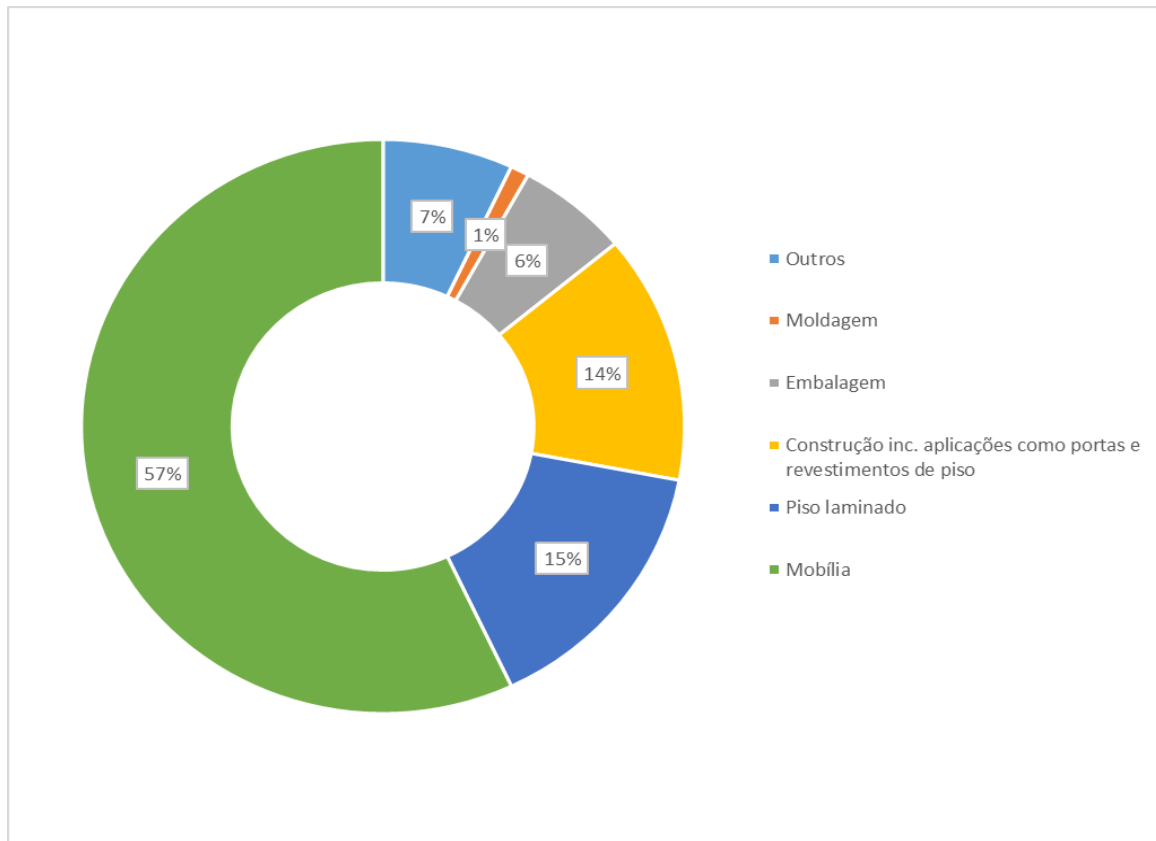


Figura 2-Distribuição percentual das áreas de utilização do MDF em 2021

Fonte: Adaptado de *European Panel Federation* (2023)

1.2 Objetivos da Investigação

Com a realização deste trabalho pretendeu-se perceber e identificar a importância da aplicação das metodologias *Lean* ao setor de transformação de madeira, por um lado, e por outro, melhorar a eficiência do sistema de produção (melhoria contínua) através da implementação de ferramentas de *Lean Manufacturing* e ainda, confirmar a importância de controlo de processos no chão de fábrica para a concretização da melhoria de qualidade e redução de desperdício. Para tal considerou-se fundamental o cumprimento dos seguintes aspetos:

- Análise à situação inicial em matéria de qualidade;
- Diagnóstico e análise da situação existente, relativamente à metodologia *Lean*;
- Escolha de um caso de estudo para a aplicação da metodologia *Lean* para melhoria da qualidade;
- Implementação efetiva de ações no âmbito do *Lean Manufacturing* que visam a redução de defeitos de qualidade e respetiva avaliação;

Em suma, pretende-se aproximar esta abordagem ao ciclo DMAIC: definir, medir, analisar, melhorar e controlar (Ferreira et al., 2019a), e como ilustrado na figura 3, onde é possível identificar quais as ferramentas mais adequadas ou de melhor aplicabilidade a cada etapa da resolução do problema.

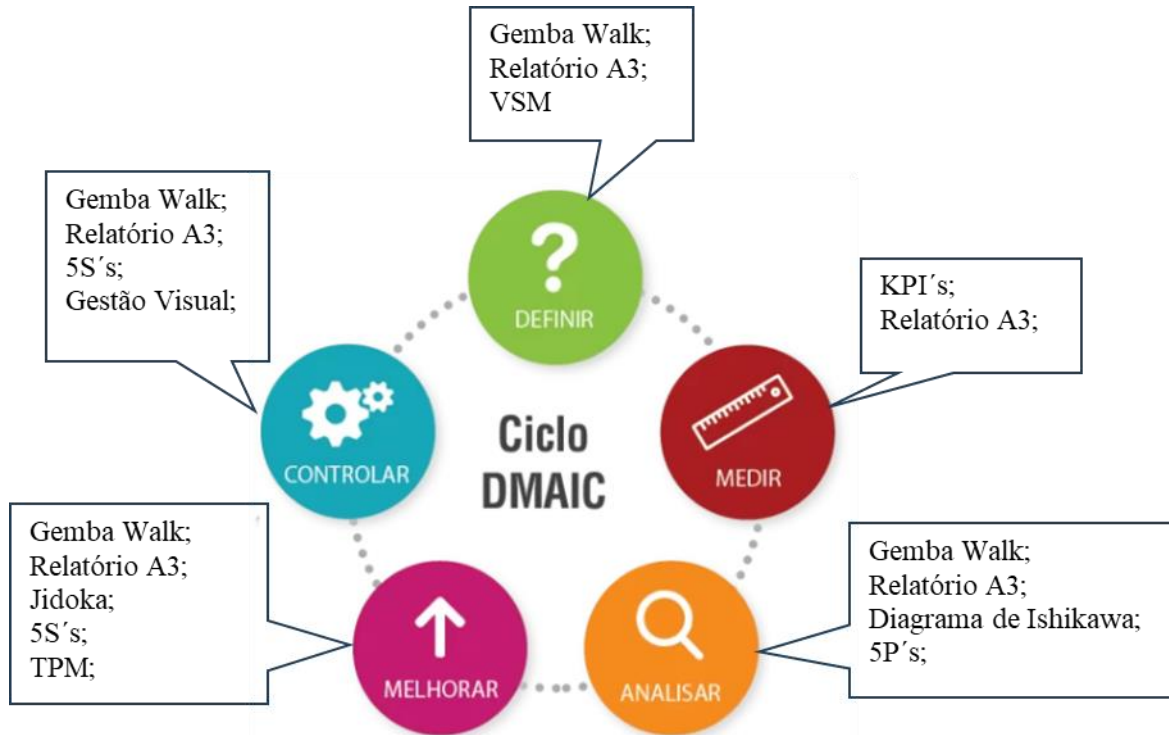


Figura 3-Ciclo DMAIC

Fonte: Adaptado de Minetto (2018)

1.3 Abordagem Metodológica

A aplicação da metodologia *Lean* passa por compreender a importância da criação de valor, identificando todas as disfunções, reduzindo os custos operacionais e assim aumentar a qualidade e a competitividade empresarial. Assim sendo, foi vital conhecer as ferramentas e técnicas da metodologia *Lean* que mais se adequam a cada fase do problema proposto para o caso de estudo.

De forma a identificar possíveis melhorias e, redução de desperdícios materiais e humanos, foram utilizadas ferramentas analíticas da filosofia *Lean* e outras ferramentas de melhoria contínua, com o intuito de cumprir o objetivo proposto para este estudo.

O objetivo principal deste trabalho foi resolver um problema de qualidade no fabrico do MDF a partir da revisão da literatura e aplicar ao caso de estudo. Como forma de sustentar a realização do presente estudo foi necessário recorrer a um aprofundamento do conhecimento da filosofia *Lean*, com o intuito de se encontrarem soluções válidas e viáveis. Ao nível da

revisão da literatura foram consultados vários artigos científicos, trabalhos académicos, livros e *sites*, que serviram para abordar temas relacionados com o *Lean Manufacturing* e com as ferramentas da qualidade.

Com o objetivo delineado, foi proposto um modelo de aplicação baseado na filosofia *Lean*, com enfoque na melhoria contínua, e muito em particular na vertente da qualidade. Esta proposta foi desenvolvida a partir do ciclo DMAIC e divide-se em 5 pontos fulcrais, 1 – Definir (*Define*), 2 – Medir (*Measure*), 3 – Analisar (*Analyze*), 4 – Melhorar (*Improve*) e 5 – Controlar (*Control*).

Esta proposta foi posta em prática, sendo iniciada com a identificação/definição do problema e por reuniões periódicas onde eram traçadas pequenas metas e objetivos do caso de estudo, foi efetivada a recolha de dados através de relatórios e análise dos processos, quer informaticamente quer por análise direta. Por outro lado, e tendo consciência da importância da recolha de informações, foram também realizadas em paralelo entrevistas presenciais com os colaboradores do chão de fábrica, com vista a adquirir mais conhecimento sobre o seu saber-fazer e dessa forma alavancar a diminuição das não conformidades na produção do produto 9T1.

Perante os dados recolhidos, foram analisadas todas as causas raiz dos problemas identificados, sendo apresentadas à direção de fábrica um conjunto de medidas para a eliminação destas não conformidades detetadas. Todo o plano de ações foi concretizado. Os resultados do estudo das aplicações são apresentados na fase melhoria do ciclo DMAIC.

1.4 Estrutura da Dissertação

O relatório de estágio está organizado em sete capítulos principais, a introdução, revisão da literatura, estado da arte sobre a componente técnica de produção de MDF, apresentação da empresa, caso de estudo, análise e discussão de resultados e conclusão.

A introdução, expõe o enquadramento, objetivos, metodologia de estudo e a estrutura do relatório de estágio, empregue para apresentar e desenvolver o presente caso de estudo.

No capítulo que se segue apresenta-se a revisão da literatura sobre a filosofia *Lean* e suas ferramentas. Neste capítulo é abordada a metodologia aplicada no caso de estudo desenvolvido. É feita uma revisão bibliográfica com maior foco nas ferramentas que foram utilizadas ao longo do período de estágio.

No capítulo três é apresentada uma revisão sobre o estado da arte do que é o MDF, de como é composto, quais são as suas principais matérias-primas e as suas variáveis críticas de processo.

No capítulo quatro, o grupo Sonae Arauco é caracterizado: a sua história, as suas funções e também a sua missão, alma e os seus objetivos para o futuro. Foi apresentada com maior profundidade a unidade fabril onde o estudo decorreu, ou seja, a unidade industrial de Mangualde.

O capítulo seguinte, o quinto, trata da exposição das etapas da aplicação do ciclo DMAIC e apresenta os resultados obtidos. Este capítulo foi baseado na implementação da metodologia *Lean*, *Seis Sigma*, tendo por base a aplicação do DMAIC exposta num relatório A3, uma metodologia sequencial que se inicia com a definição, medição e análise dos problemas que decorrem na realização do produto, e finaliza com apresentação das devidas propostas de melhoria, para posterior implementação.

No sexto capítulo é discutida a revisão de literatura quanto ao seu leque de abrangência e sua pertinência na atualidade. Neste capítulo podemos consultar ainda a eficácia dos resultados obtidos neste caso de estudo.

No último capítulo, o sétimo, apresentam-se as considerações finais e nele são expostas as principais conclusões do caso de estudo, assim como as limitações e as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para elaboração deste relatório de estágio foi utilizado o método de pesquisa bibliográfica sobre o estado da arte que consiste na recolha, análise, sintetização e avaliação de um conjunto de artigos científicos com o propósito de criar uma base teórico-científica sobre um determinado assunto. Para tal foram utilizados os serviços de pesquisa B-on biblioteca do conhecimento on-line, ScienceDirect site este onde são publicados documentos científicos e o Google Scholar para apoio desta temática.

O gráfico 1 apresenta os anos de publicação dos artigos selecionados. A pesquisa para a revisão de literatura foi realizada durante o ano de 2023, abrangendo esta, os meados do ano. Os 45 artigos selecionados e duas dissertações de mestrado, foram todos de autores diferentes o que mostra o quanto é um tema bastante difundido por todo o planeta.

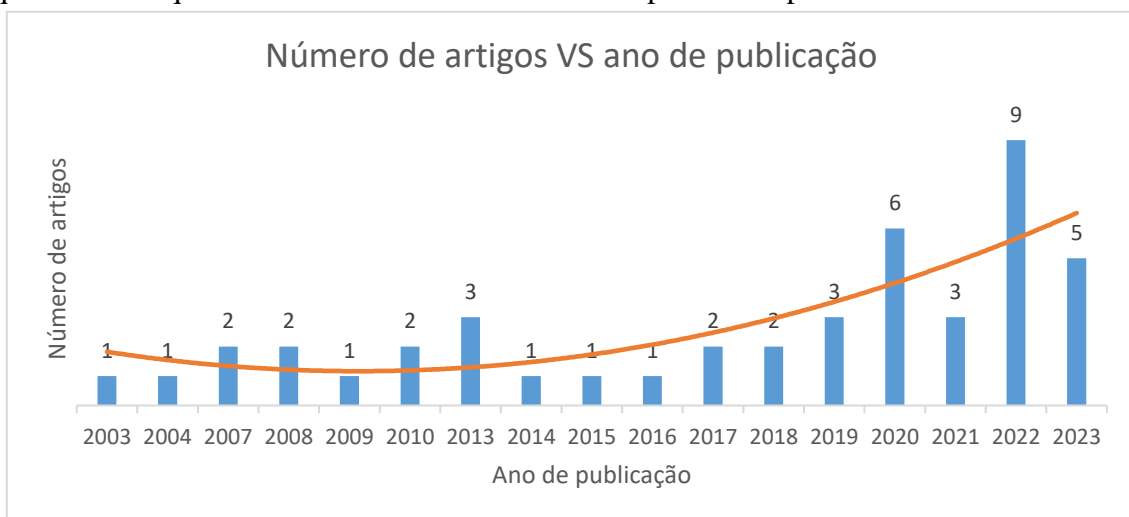


Gráfico 1-Ano de publicação dos artigos

Da revisão bibliográfica sobre o estado da arte foi possível reconhecer o benefício da utilização de ferramentas *Lean*. O recurso à metodologia *Lean* tem-se vindo a disseminar, esta abrange os mais variados setores, desde os serviços, às indústrias até à área da medicina. Onde, nesta última, se verifica um interesse crescente por esta metodologia, abrangendo setores que vão desde a radiologia à cardiologia passando pelas urgências hospitalares e por a Unidade de Cuidados Intensivos.

2.1 Filosofia *Lean Manufacturing*

O conceito de *Lean Manufacturing* teve a sua génese e evolução a partir do Sistema de Produção Toyota, tendo este último emergido no Japão, após a Segunda Guerra Mundial. Em 1955, Taichii Ohno e Shigeo Shingo encetaram a tarefa de desenvolver um novo sistema de produção para a Toyota Motor Company nas instalações de Nagoya. Durante as duas décadas

seguintes, os dois engenheiros fundiram vários conceitos retirados das religiões e filosofias asiáticas com os melhores conceitos existentes de produção. O sistema unificado de elevada produtividade e qualidade superior desenvolvido tornou-se o Sistema de Produção Toyota.

Uma vez que a frase "Sistema de Produção Toyota" estava claramente identificada com um único produtor, procurou-se encontrar uma designação para este conceito aplicável a qualquer organização. Surgiram uma vasta gama de nomes, tais como "Just-in-Time Production", "World Class Manufacturing", "Continuous Flow Manufacturing", etc. Em 1990, James Wormack e Daniel Jones, consultores de produtividade industrial, escreveram um livro que se tornou popular, intitulado "A Máquina que Mudou o Mundo". Neste livro foi cunhado o termo "*Lean Manufacturing*", termo este que se difundiu e ficou popularizado, sendo atualmente aceite de forma generalizada nos meios da engenharia, empresarial e académico (Womack et al., 2007).

Enraizado no propósito, no processo e no respeito pelas pessoas, o *Lean Manufacturing* visa fornecer o máximo valor ao cliente, minimizando recursos, tempo, energia e esforço. Pretende-se desta forma disponibilizar o máximo de valor na perspetiva do cliente, despendendo do mínimo de recursos e canalizando os talentos das pessoas certas para o trabalho certo.

Na busca pela melhoria da competitividade, as organizações procuram constantemente maneiras de aumentar a eficiência, qualidade, níveis de serviço e diminuir desperdício. A necessidade de reconsiderar métodos de funcionamento de processos tornou-se necessário devido à sua crescente complexidade. O modelo *Lean*, enraizado numa filosofia que visa a eliminação de todos os *mudas* (palavra de origem japonesa que significa desperdício) (Rahman et al., 2013), permeia todos os aspetos da organização, visando a aplicação e utilização dos métodos mais eficientes. As ideias fornecidas pelo *Lean Management* são as mais poderosas, mais simples e mais disponíveis para criar valor e eliminar o desperdício em qualquer organização (Elafri et al., 2022b).

2.2 Pilares do *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing*, tem como base uma filosofia de menores prazos de entrega visando organizar e estruturar uma empresa de forma a que qualquer tipo de desperdício seja minimizado e os recursos disponíveis sejam utilizados de forma mais eficiente “*A pessoa certa para a função certa*” (Womack et al., 2007). Com a implementação da filosofia *Lean*, as estruturas organizacionais conseguem produzir de forma mais eficiente, com menores custos e

de forma mais ecológica, aumentando a sua competitividade e rentabilidade (Vasconcelos et al., 2019).

A filosofia *Lean*, tem por fundamento um fluxo de produção constante e nivelado, onde a sua capacidade produtiva pode ser facilmente ajustada, caso os requisitos dos clientes se alterem ou exista alguma anomalia de qualidade. Dessa forma, este sistema de produção assenta em dois pilares: o JIT (Just In Time) e o Jidoka onde o sustento destas técnicas e o foco da sua aplicação tem por base bem sustentada na estabilidade de processo, as pessoas (Mourato, 2019).

Segundo Liker (2021) este sistema de produção projetou a estrutura da filosofia *Lean* da base para o topo (Figura 4), sendo de extrema importância os pilares para o sustento de toda a metodologia numa organização.

Da base da casa *Lean* constam diversas práticas e conceitos que conferem o suporte necessário a toda a estrutura, tendo esta, como principal objetivo a total eliminação dos desperdícios. Na figura 4 está ilustrada a estrutura da casa *Lean*: o “telhado” da casa, ou seja, no topo do projeto, está o foco que todas as empresas procuram com a implementação do *Lean Manufacturing*, redução dos custos e prazos, com melhoria na qualidade dos seus produtos (Liker, 2021).

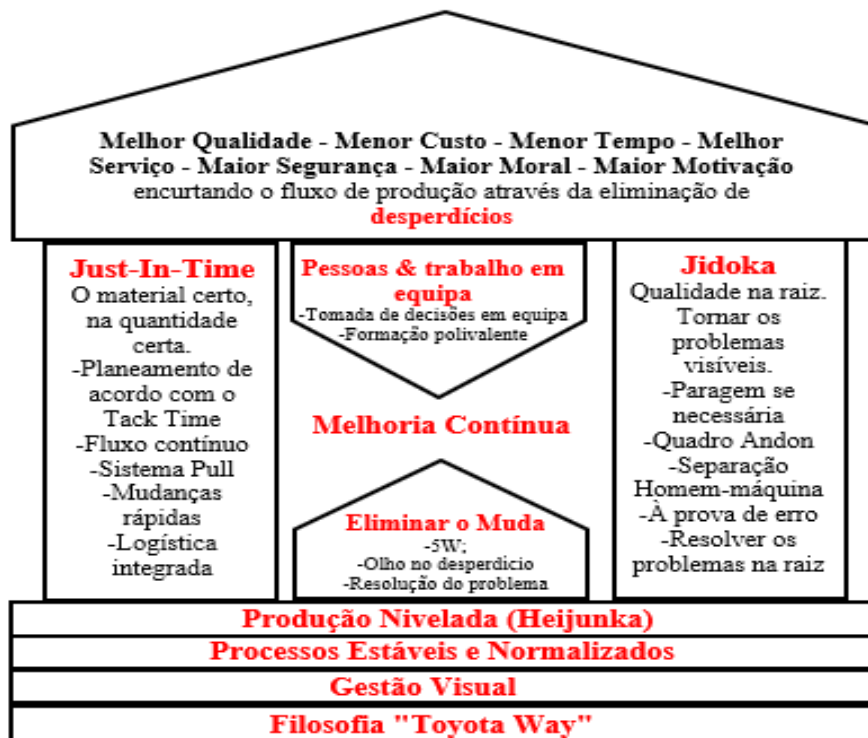


Figura 4-Estrutura do sistema de produção da Toyota

Fonte: Adaptado de Liker (2021)

Assim sendo a implementação física e os procedimentos *Lean*, pelos quais se podem atingir os objetivos das organizações (mesmo que a standardização de processos estabeleça o método para realizar o trabalho) não estabelece uma ligação explícita entre o trabalho e os objetivos do sistema. Assim sendo a eficiência da gestão concretiza-se pela implementação de uma estrutura que sistematicamente equilibre os “objetivos” com os “meios” para os alcançar.

2.3 Os Princípios do Pensamento *Lean*

O pensamento *Lean* é uma forma das organizações batalharem contra o desperdício e de acordo com Womack et al. (2007), descrevem este conceito de forma ampla, onde lhe atribuíram cinco princípios chave, descritos de seguida.

Especificação de valor: valor de um produto ou serviço é o que atende plenamente as necessidades, expectativas e desejos do cliente final. O valor é definido pelo cliente e deve ser criado pela organização. O cliente só está disposto a pagar por aquilo que considera e entende por valor (Liker, 2021).

Cadeia de valor: a cadeia de valor são todas as ações necessárias para levar o produto até ao consumidor, ou seja, as atividades que efetivamente acrescentam valor ao produto ou serviço, atividades de gestão mais críticas que vão desde a conceção e design do produto, passando pelo planeamento, produção e entrega ao cliente. Assim, todas as atividades supérfluas, ou seja, aquelas que não acrescentam nenhum valor, deverão ser eliminadas, mantendo e melhorando as atividades que agregam valor para o cliente.

Fluxo da cadeia de valor: determinar um fluxo contínuo de valor, após identificar a cadeia de valor e os seus desperdícios, a organização deverá criar um fluxo contínuo, o qual é caracterizado pela aptidão de produzir apenas o necessário para o momento necessário.

Após o passo anterior, será possível constatar quais são as atividades que realmente agregam valor, sendo que todo o resto deverá ser considerado desperdício. Eliminar esse desperdício garante que o fluxo de produtos ou serviços para o cliente, decorra sem aumentos do tempo de espera ou interrupção no fornecimento.

Sistema *Pull*: a organização deverá deixar que seja o consumidor a procurar o produto, vende-se um, produz-se um. Produzir de acordo com o sistema *Pull* consiste em produzir apenas quando existe procura por parte do cliente, ou seja, produzir um bem ou serviço apenas quando for feita uma solicitação pelo cliente e não empurrar o produto para o consumidor, evitando a produção para stock e o excesso de produção, sendo este um dos piores dos desperdícios, conjuntamente com o desperdício de capacidade /talento humano.

Para que isso aconteça, é necessário o planeamento inicial em todas as unidades do sistema produtivo, de modo a equilibrar a capacidade produtiva com os pedidos dos diversos clientes.

Procura pela perfeição: não deverá existir um fim para os processos de redução de tempo, espaço, custos e defeitos, na busca pela perfeição nos processos de eliminação de desperdícios e na aposta pela criação de valor. O principal objetivo da metodologia *Lean* é o aumento da criação de valor através da redução do desperdício, ou seja, criar mais valor com menos recursos. Uma organização com gestão *Lean* tem um entendimento claro sobre o que constitui valor para o cliente e foca-se nos processos chave para o aumentar.

2.3.1 Os oito principais desperdícios

O objetivo permanente na filosofia *Lean* tem como foco principal a eliminação de desperdícios em todas as etapas e em todos os níveis do processo produtivo por meio da melhoria contínua. Muitos têm sido os métodos e técnicas utilizadas para esse fim. Uma das mais eficazes surgiu a partir das inquietações de Taiichi Ohno, que desenvolveu as suas ideias como executivo da Toyota. Shigeo Shingo, consultor da Toyota na época de Ohno, auxiliou-o e ampliou as formas de entendimento sobre o desperdício não só com foco na mão de obra, mas também considerando todas as outras atividades organizacionais.

Deste modo, de acordo com Liker (2003), Ohno identificou sete principais desperdícios como sendo: sobreprodução, espera, transporte, processos, stock, movimentação e produtos defeituosos. Como sugerido por Klein et al. (2021), os setes desperdícios foram ampliados para oito, passado a ser considerado o desperdício de pessoas subaproveitadas, enfatizando como negativa para a organização a não utilização de toda a capacidade do seu quadro de recursos humanos. Portanto, o oitavo desperdício ocorre quando as habilidades, talentos e capacidades dos funcionários são subutilizadas, não são utilizados adequadamente ou simplesmente não são utilizadas.

Os oitos desperdícios são então:

Sobreprodução: refere-se a excesso de produção. É a face da moeda oposta de uma produção JIT pois produz-se mesmo depois da ordem de produção ter sido concluída. As causas mais comuns da sua origem são: a existência de grandes lotes de produção, a aplicação de trabalho em atividades que não acrescentem valor - como é o caso de setups, inspeções e transportes - a antecipação da produção com a expectativa que o produto seja vendido mais cedo,

e a criação de stocks para compensar produto defeituoso, evitar atrasos na entrega da matéria-prima ou paragens dos equipamentos devido a avarias (Klein et al., 2021).

Espera: refere-se ao tempo de imobilização de pessoas ou equipamentos, sempre que estes estão parados ou à espera de algo. O tempo não produtivo resulta em desperdício de todos aqueles recursos que têm de ser pagos, como os salários dos trabalhadores, a energia elétrica e os restantes custos fixos.

Transporte: são as movimentações efetuadas pela matéria-prima, pelas montagens ou pelo produto acabado. Não se perde só o tempo com estas movimentações, os produtos também podem ser danificados quando estas movimentações ocorrem. Para eliminar este desperdício devem ser implementadas melhorias na forma como é feita a arrumação, melhorar fluidez do layout e da organização dos locais de trabalho, assim como adotar métodos de transporte mais eficientes.

Movimento: movimentação desnecessária de trabalhadores face às etapas de conceção do produto. Este desperdício está relacionado principalmente ao movimento interno dos operadores nas estações de trabalho para realizar as suas tarefas específicas diante do posicionamento das ferramentas, do layout da célula, da localização dos equipamentos, dos aspetos ergonómicos dos equipamentos, da posição de trabalho indicada do operador e do próprio setor produtivo.

Excesso de processos: o excesso de etapas que se executam para obter o produto final consome recursos desnecessariamente, não gerando qualquer valor, e, portanto, são um desperdício. Os procedimentos e atividades desnecessárias ou sobredimensionadas, a utilização de equipamentos dimensionados de forma inadequada, a alocação de mão de obra não compatível ao tipo de tarefa a desempenhar, entre outros, podem levar a que surjam produtos ou serviços defeituosos. A análise desse tipo de desperdício possibilita identificar o que está a ser utilizado ou posto à disposição do processo e tem custos, mas não gera valor para o produto durante o processo produtivo.

Stock: o desperdício é causado por pilhas de peças à espera de serem acabadas (stock semiacabado), produtos finais à espera de serem transportados ou matérias-primas não utilizadas. Isto significa que se está a acumular ativo, componentes e produtos desnecessariamente, o que consome recursos valiosos, em termos de espaço e mão-de-obra necessária para o seu manuseamento, aumentando o custo final do produto.

Defeitos: o desperdício gerado por produtos defeituosos é provocado pela produção de bens ou serviços fora das especificações e necessidades dos clientes internos ou externos, o que

provoca retrabalho ou refugo, acarretando elevados custos para a organização. Quando se verifica a ocorrência de um tipo de defeito num posto, os postos seguintes também podem sofrer desperdícios decorrentes dos tempos de espera, o que se traduz em acréscimo de custos de fabrico e conseqüentemente, custos unitários do produto mais elevados. No entanto, quando esses defeitos só são detetados pelos clientes, após a entrega do produto, esses podem originar custos acrescidos, não só em termos de garantia, como inclusivamente em perda de confiança por parte dos clientes, colocando em risco, não só futuras encomendas e a relação comercial com os clientes como também a quota de mercado.

Pessoas: este desperdício está intrinsecamente relacionado com a subutilização das pessoas e, em particular, das suas ideias e contribuições criativas para melhorar os processos; tem como causa principal a falta de tempo para ações de melhoria contínua. Esta oitava categoria de desperdício é inerente aos sete desperdícios previamente definidos.

2.4 Ferramentas *Lean*

Existem diversas ferramentas que podem ser extraídas da metodologia *Lean*. Visto que cada caso é único, a determinação das ferramentas e metodologias a utilizar faz parte da decisão da hierarquia, dependendo dos objetivos delineados e dos problemas existentes em cada caso. A melhoria da qualidade de produtos e processos é fundamental para que uma empresa sobreviva e se desenvolva num ambiente comercial cada vez mais competitivo. A qualidade desempenha um papel preponderante em qualquer organização para que esta se torne mais eficiente e eficaz. Para assegurar adequados padrões de qualidade há que assegurar a resolução sistemática de todos os problemas que possam surgir no processo produtivo e que afetam a qualidade do produto ou do processo (Uslu Divanoğlu & Taş, 2022). Em empresas industriais, uma estratégia comumente aplicada para aprender com os problemas do passado é aplicar o método de análise de causa raiz (Ito et al., 2022); para tal podem ser utilizadas ferramentas tais como: 5S's, análise dos cinco porquês (5 P's), normalização e padronização de processos, diagrama de Ishikawa, Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) e os *Seis Sigma* (Uslu Divanoğlu & Taş, 2022).

2.4.1 Mapeamento de fluxo de valor

O mapeamento de fluxo de valor (VSM) é definido como “o conjunto de todas as ações específicas necessárias para orientar um determinado produto através das três tarefas críticas de gestão de qualquer negócio: Resolução de Problemas, Gestão da Informação e Transformação Física”. O mapeamento de fluxo de valor (VSM) é o processo de mapear os fluxos de materiais e informações necessários para coordenar as atividades realizadas por fabricantes, fornecedores

e distribuidores (Chen et al., 2010a). O VSM indica de forma clara o stock disponível, o tempo de processo, o tempo de ciclo, o tempo de espera, e o fluxo do processo a partir do qual podemos classificar o “gargalo de trabalho” que mais afeta o “*Takt time*” (tempo disponível para a produção em função da encomenda do cliente).

Inicialmente, deve ser produzido um mapa do estado atual, a partir do qual as fontes de desperdício são identificadas (Sundar et al., 2014). A partir deste mapa inicial pode-se desenvolver uma proposta para esse mesmo processo, com um conjunto de melhorias, indicando-se o desempenho esperado do mesmo. O mapeamento do fluxo de valor é simplesmente a transferência de informações sobre o fluxo de valor para um “mapa”, que representa o estado atual ou futuro do sistema de produção (Chen et al., 2010b).

Assim, a ferramenta VSM é essencial para ajudar a visualizar os processos, a identificar os desperdícios, torna as decisões visíveis para serem discutidas e mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de materiais. Para além dos desperdícios, o VSM possibilita a definição de ações de melhoria assim como também possibilita o estabelecimento de uma hierarquia de prioridades para a implementação.

2.4.2 Sistema *Pull*

A produção em massa dependia do conceito de produção “Push” (empurrada) para satisfazer economias de escala. No entanto, devido às rápidas mudanças nos requisitos do utilizador final, os fabricantes correriam o risco de colocar no mercado produtos que podiam ter uma variação significativa na procura ao longo do tempo. Na produção “*Pull*”, os produtos são puxados pelas necessidades do mercado em vez de serem empurrados para o cliente reduzindo assim a sobreprodução e o stock (Saad et al., 2021). O trabalho a montante é puxado pelo “pedido” de trabalho a jusante para garantir um trabalho contínuo. Consequentemente, uma atividade puxa por atividades antecessoras para reduzir o tempo de ciclo de uma determinada peça e deste modo reduzir as filas de trabalho pendente. Isto pode ser explicado pelo facto de que o “*Pull*” utiliza recursos e materiais apenas quando estes são necessários. As atividades que iniciam nas unidades sem serem necessárias são consideradas desperdício de produção.

O sistema *Pull* é umas das principais plataformas de sucesso do modelo de gestão *Lean*. A Toyota segue esta metodologia, implementada na sua empresa e descrita, enquanto modelo de organização industrial, como uma ferramenta que prevê o nivelamento das atividades

produtivas, e conseqüentemente a sua otimização (Liker, 2021). O processo é orientado segundo os seguintes pontos:

- A produção usufrui de um sistema que torna os pedidos dos clientes conhecidos e visíveis;
- Permite o controlo visual da produtividade, dos fluxos de informação e materiais;
- Busca satisfazer o cliente, com qualidade no produto, custo e prazo de entrega;
- Alia a produção e a logística criando um fluxo de informação entre ambos;
- A sua implementação na cadeia de abastecimento deve ser realizada na sua totalidade.

O sistema *Pull* é identificado, como: *Pull* de reabastecimento, *Pull* sequencial e *Pull* combinado. Um sistema *Pull* bem-sucedido depende do fluxo do produto em pequenos lotes (sempre que possível aproximando-se do fluxo a uma peça), do ritmo dos processos de acordo com o “*takt time*”, da sinalização de reposição por meio de um sistema “*Kanban*” (*Kanban* é um dos sistemas *Lean Manufacturing* que foi criado para controlar os níveis de stock, a produção e o fornecimento de componentes) e do nivelamento da quantidade de produtos ao longo do tempo no sistema produtivo.

De acordo com Furtado (2015) a ideia de supermercado surgiu depois de Taiichi Ohno, durante uma visita aos EUA, ter observado a existência de uma grande variedade de produtos, que os clientes vão consumindo de acordo com as necessidades, colocando-os num carrinho. Paralelamente, o produto retirado é reabastecido pelo funcionário com os produtos existentes no armazém da loja e que, por sua vez é reabastecida pelo centro de distribuição regional. Os supermercados correspondem a pequenas quantidades de produto armazenado, com as suas respetivas localizações dedicadas e especial organização.

Sistema *Pull* de Reabastecimento: este tipo de sistema, assume que cada processo tem o seu próprio supermercado, o qual contém as quantidades necessárias de cada produto produzidos e apenas quando recebe a informação que o produto foi consumido é que a produção ativa a reposição. Cada processo é responsável pelo abastecimento do seu supermercado. Tem a vantagem de os produtos estarem de imediato à disposição do cliente, diminuindo assim período de entrega. Como desvantagem, este modelo envolve a retenção de inventários em cada etapa de produção (Smalley, 2004).

Sistema *Pull* Sequencial: um sistema *Pull* sequencial deve ser usado quando existe uma vasta gama de produtos, causando a retenção de stock dos vários produtos. Este sistema funciona quando chega uma encomenda. O controlo de produção envia a informação para o

último processo com a variedade e quantidade exata a ser produzida, necessitando de inventários pequenos (Smalley, 2004).

Sistema *Pull* Combinado: este sistema combina os dois sistemas mencionados anteriormente. É um sistema útil e adaptado para diferentes ordens de fabrico, tais como os de muito consumo, mas também para produtos de baixo consumo. O controlo diário das máquinas e uma produção mista são duas desvantagens deste sistema (Smalley, 2004).

O sistema *Pull* permeia o nivelamento de produção dissolvendo as várias oscilações dos pedidos dos clientes, encontrando uma produção estável, standardizada e com lotes definidos. Assim, o “efeito chicote” da procura da cadeia de abastecimento é reduzido, e como tal origina uma redução do excesso de stock e de produção desnecessária.

2.4.3 Troca rápida de ferramentas

A mudança rápida de ferramentas foi introduzida e desenvolvida ao longo do tempo por Shingo, que é popularmente chamada de “*Single Minute Exchange of Die*” (SMED). Com base no estudo de tempos, Shingo separou o tempo de setup, em tempos de configuração interno e externo. As atividades que apenas podem ser realizadas após a paragem da máquina são contabilizadas no tempo de setup interno e por outro lado as atividades que podem ser realizadas sem parar a máquina, são contabilizadas no tempo de setup externo. O gráfico Yamazumi é usado para analisar o tempo de configuração interna (atividade on-line) e externa (atividade off-line). Com base nestas análises, o possível tempo de configuração interna é convertido em configuração externa e o tempo de configuração interna é simplificado através da introdução de trabalho paralelo de vários operadores durante a atividade on-line e ajustes de configuração. Finalmente, a sustentabilidade destas melhorias no tempo de configuração é alcançada através da padronização. Shingo propôs regras para a padronização dos tempos de setup (Sundar et al., 2014).

O principal objetivo do SMED é o de reduzir tempos de transição entre equipamentos (ou das suas diferentes configurações dos equipamentos). O SMED passa, então, por alterar processos no sentido de permitir que, o maior número de passos de configuração possam ser realizados ainda com o equipamento em funcionamento, para reduzir eventuais períodos de paragem e minimizar os impactos na restante linha de produção. A estratégia foi aperfeiçoada por Shigeo Shingo e, de acordo com Toki et al. (2023), com base em alguns casos de estudo, os tempos de transição podem ser otimizados até 94%.

O SMED permite a redução dos custos associados à produção, nomeadamente pela maior flexibilidade do sistema produtivo, e pela consequente otimização dos tempos de produção e prazos de entrega. Estas são algumas das principais razões que enquadram o SMED na metodologia *Lean* e que têm um impacto claro na satisfação do cliente. O facto de permitir rápidas mudanças na linha de produção significa também a possibilidade de produzir lotes menores, ao invés da produção de grandes quantidades, para aproveitar uma determinada configuração dos equipamentos. Simultaneamente, isto traduz-se numa menor quantidade de stock de matérias-primas, reduzindo uma vez mais os custos de produção.

2.4.4 Padronização

Trabalho padronizado refere-se ao método mais seguro e eficaz para realizar um trabalho, no menor tempo possível como resultado da utilização eficiente de recursos como pessoas, máquinas e materiais. O principal objetivo consiste em reduzir a variabilidade entre os colaboradores e assegurar a consistência com os resultados pretendidos (Oliveira et al., 2017). Monden (1983) introduziu o Gráfico de Trabalho Padronizado, a Tabela de Combinação de Trabalho Padronizada e a Folha de Operação Padrão, que são úteis para analisar e melhorar o trabalho padronizado (Liu, 2012).

O trabalho padronizado apresenta como principais vantagens:

- Redução da variabilidade – o trabalho torna-se estável e mensurável;
- Redução de custos – por meio da redução de desperdícios decorrentes de procedimentos de trabalho ineficientes;
- O processo torna-se mais económico;
- Melhoria da qualidade - se a mesma operação fosse executada de forma diferente por pessoas diferentes, a probabilidade de erros de mão-de-obra e defeitos aumentaria;

A Padronização do Trabalho pode ser descrita como um conjunto de ferramentas de análise que tem como objetivo formar um conjunto de Procedimentos Operacionais Standardizados (*Standard Operating Procedures - SOP*). A standardização deve medir e descrever o processo de trabalho do operador de forma sequencial, etapas do processo, tempo de ciclo, material a usar no processo e controlo de processo. A informação é então transformada num documento que mostra o que o trabalhador e as máquinas estão a fazer ao longo de um ciclo de trabalho. Outro requisito importante nos processos de melhoria contínua é a formalização e a tangibilidade documental daquilo que se diz e daquilo que se faz. É também a

adoção de práticas formais de envolver e comprometer as pessoas com o conceito de melhoria contínua, tal como assumir compromissos perante as pessoas sem deixar dúvidas ou liberdade para interpretações incorretas.

2.4.5 Ferramenta 5S's

A metodologia 5S que significa “arrumar a casa”, teve origem no Japão, no início dos anos 50 a fim de melhorar a eficiência, reforçar o desempenho e proporcionar uma melhoria contínua em todos os segmentos da estrutura organizacional. Nas organizações atuais, a gestão foi orientada para a adoção de práticas, programas ou métodos que ajudam a facilitar a melhoria contínua dos serviços (Abu Bakar et al., 2019). Tudo o que a ferramenta 5S envolve é baseada em senso comum. Esta metodologia tem como objetivo combater a desorganização evidente nos postos de trabalho e fá-lo através de um conjunto de práticas que têm o propósito de reduzir os desperdícios e melhorar o desempenho, tanto das pessoas como dos processos. 5S é uma ferramenta de ação baseada nas cinco palavras japonesas que começam com a letra S: Seiri: senso de utilização; Seiton: senso de organização; Seiso: senso de limpeza; Seiketsu: senso de padronização; Shitsuke: senso de disciplina, (Abu Bakar et al., 2019). Cada conceito da ferramenta 5S está descrito de seguida.

1. Seiri (Senso de Utilização): o principal objetivo deste senso é a otimização dos espaços, através de uma eficiente alocação e utilização de equipamentos e de materiais de trabalho em geral. É aconselhável que nos locais de trabalho esteja alocado apenas o necessário e com layout adequado para uma utilização eficaz.

2. Seiton (Senso de Organização): o segundo passo do método 5S consiste em identificar e organizar todos os itens remanescentes após o primeiro passo. Este senso tem como objetivo organizar racionalmente equipamentos, material de uso ou documentos para facilitar o acesso e a utilização dos diversos recursos num layout fluente. Este senso define novas formas de armazenar materiais, recorrendo a uma gestão mais visual, de modo a simplificar a sua organização.

3. Seiso (Senso de Limpeza): este senso tem como objetivo deixar sempre limpo ou em condições favoráveis para utilização, os equipamentos e outros recursos físicos. Este senso procura criar a cultura de utilizar um calendário para a limpeza e a manutenção dos equipamentos, ferramentas e estruturas.

4. Seiketsu (Senso de Padronização): define como objetivo o de cumprir as recomendações técnicas e manter as condições de trabalho para os colaboradores, de modo a

favorecer a saúde física e mental. Este senso procura ainda a padronização dos bons hábitos das normas técnicas e dos procedimentos e ações eficazes.

5. Shitsuke (Senso de Disciplina): tem por objetivo criar uma cultura para educar, consciencializar e disciplinar o colaborador visando a um comportamento e a hábitos que motivem a melhoria contínua por meio da força física, mental e moral. Este senso procura ainda a manutenção dos quatro sentidos iniciais. Se esta última etapa realmente estiver operacional, significa que todas as etapas anteriores foram cumpridas.

2.4.6 Gestão visual

Gestão visual é um processo criado para aumentar a eficiência e eficácia das operações de produção e manutenção tornando os objetos e os processos mais visíveis e perceptíveis. Tem também como objetivo tornar os processos mais lógicos e intuitivos. Muitas empresas recorrem à gestão visual de forma a tornarem os processos mais simples e menos dependentes de sistemas informáticos e procedimentos informais. Além disso, está provado que quando as coisas estão visíveis elas mantêm-se na mente. Deste modo, promover a gestão visual é facilitar a comunicação e a informação necessárias aos processos de tomada de decisão (Benjamin et al., 2015). A informação visual utilizada deve ser o mais simples possível para que rapidamente o utilizador receba a informação necessária, sem dúvidas nem hesitações. De um modo geral a prática do controlo visual assenta na ferramenta 5S.

2.4.7 Ferramenta 5P's

A análise dos 5 porquês consiste em responder a cinco perguntas consecutivamente, onde essas perguntas são os porquês, tendo por base o efeito ou defeito ocorrido. A análise dos 5 porquês é comumente usada no *Lean Manufacturing*. Depois de identificar onde o desperdício (*muda* em japonês) ocorre e como ocorre (Rahman et al., 2013), é importante identificar a causa raiz do *muda* e removê-lo ou reduzi-lo. O método dos 5 porquês é um processo que começa com a identificação de um problema específico, seguido da pergunta porque é que o problema acontece e registando a resposta. Se a resposta dada não identificar a causa raiz do problema, a equipa de trabalho continua a repetir sucessivas perguntas de “o porquê” até que se identifique a causa raiz do problema. Embora o nome implique perguntar porquê sucessivamente cinco vezes, algumas situações exigem menos e algumas exigem mais de cinco perguntas (Chen et al., 2010b). Os profissionais de qualidade implementam tradicionalmente a análise dos 5 porquês como análise de causa raiz para posteriormente determinarem ações corretivas relevantes. Deste modo, uma análise dos 5 porquês verdadeiramente bem executada origina

ações corretivas mas pode, na verdade, ser vista como uma ferramenta que origina tanto ações corretivas quanto preventivas (Murugaiah et al., 2010). A ferramenta do 5P's é adequada à resolução de problemas simples em que relações de causa-efeito são imediatas e lineares. Muitos problemas industriais têm várias causas raiz e, nestes casos, uma ferramenta como o diagrama de Ishikawa é a mais indicada.

2.4.8 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, apresentado na figura 5, é uma ferramenta que fornece um método sistemático de identificação e análise das várias causas raiz, que em conjunto contribuem para um determinado problema. Também é chamado de diagrama de espinha de peixe ou diagrama de causa e efeito. Esta ferramenta, cuja gênese está na gestão da qualidade, auxilia na identificação de todas as potenciais variáveis responsáveis pela variação observada num determinado sistema de produção (Ghatorha et al., 2020).

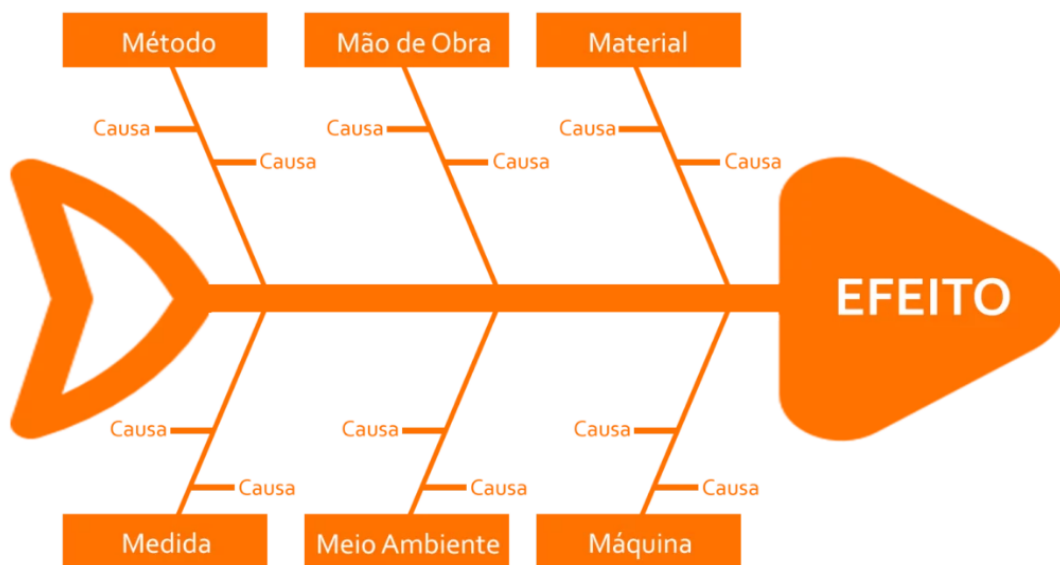


Figura 5-Diagrama de Ishikawa

Fonte: Adaptado de Soares (2022)

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta de análise de causa raiz típica das áreas de investigação em gestão, embora também tenha sido aplicado em estudos na área da saúde pois fornece uma estrutura para uma análise de síntese, organizando graficamente as múltiplas causas possíveis para problemas de qualidade de acordo com as categorias convencionadas. O diagrama de Ishikawa aperfeiçoa o raciocínio sobre as fontes de problemas de qualidade (Carvalho et al., 2021).

2.4.9 Gestão pela qualidade total

A Gestão pela Qualidade Total (TQM) tornou-se um conceito interessante no início da década de 1990 para descrever como as organizações deveriam trabalhar para obter um desempenho melhor e a máxima satisfação do cliente. A TQM é frequentemente associada a figuras da área de gestão da qualidade, por exemplo, William Edwards Deming e Joseph Moses Juran. A TQM é entendida como uma metodologia direcionada para agregar valor aos clientes, produzindo produtos e serviços de excelência e melhorando a satisfação do mesmo. A TQM também pode ser vista como uma filosofia onde toda a organização está envolvida em processos de melhoria contínua. O principal pilar da Gestão pela Qualidade Total é reconhecer que os colaboradores são os principais ativos das estruturas organizacionais, o que significa que, o seu compromisso com o processo de melhoria contínua é imperativo (Oliveira et al., 2017).

A Gestão pela Qualidade Total é fundamentada por quatro pontos estratégicos, são eles:

- Principal foco no cliente;
- Trabalho em equipa envolvendo toda a organização;
- Decisões baseadas em factos e dados;
- Procura constante da solução de problemas e diminuição de erros;

A Gestão pela Qualidade Total assenta em dez princípios organizativos, que são eles:

1. Qualidade por lucro (visa o aumento dos lucros da empresa)
2. Fazer bem à primeira
3. O custo da não qualidade
4. Padrões de competitividade
5. Toda a equipa envolvida
6. Sinergia no trabalho de equipa
7. Propriedade e elemento de autogestão
8. Gestores como modelos
9. Reconhecimento e recompensas
10. Processo de entrega de qualidade

A TQM resulta na melhoria da qualidade, produtividade, valor acrescentado, redução de custos de mão-de-obra, custo de produção, e melhor entrega, o que por sua vez também leva à melhoria da moral e da segurança dos funcionários.

2.4.10 Manutenção produtiva total

O objetivo de qualquer programa de Manutenção Produtiva Total (TPM) é o de melhorar a produtividade e a qualidade, juntamente com o aumento do bem-estar dos funcionários e da satisfação no trabalho. A manutenção preventiva era considerada um processo que não agregava valor, mas na atualidade, é um requisito essencial para um ciclo de vida mais longo das máquinas na indústria. A TPM é uma abordagem inovadora à manutenção que otimiza a eficácia do equipamento, elimina avarias e promove a manutenção autónoma do operador através de atividades diárias que envolvem toda a força de trabalho (Singh et al., 2013).

TPM é uma estratégia de gestão de ativos baseada em trabalho de equipa que enfatiza a cooperação entre os departamentos de produção e manutenção com o objetivo de zero defeitos, zero avarias e um design eficaz do local de trabalho.

A TPM baseia-se em oito pilares que são:

1. **Manutenção Autónoma:** este primeiro pilar tem como objetivo o de capacitar os operadores para executarem pequenas intervenções e inspeções.
2. **Manutenção Planeada:** este segundo pilar tem como objetivo desenvolver um sistema de manutenção mais efetivo, evitando paragens de equipamentos por problemas imprevistos decorrente do processo.
3. **Melhoria Específica:** este terceiro pilar tem como objetivo obter a eficiência máxima do equipamento através do indicador de desempenho de Eficácia Geral do Equipamento (OEE), que permite verificar se a utilização do equipamento é plena e onde poderiam ser efetuadas melhorias.
4. **Educação e Treino:** este quarto pilar tem como objetivo desenvolver novas competências e conhecimentos, através de um sistema de aquisição de competências para todos os colaboradores tornando-os aptos a desenvolver as suas atividades e responsabilidades com mais segurança sem receio de errar.
5. **Manutenção da Qualidade:** o quinto pilar tem como objetivo o conceito de manutenção de equipamentos em perfeitas condições de uso para ser mantida a perfeita qualidade nos processos.
6. **Controlo Inicial:** o sexto pilar tem como objetivo analisar de forma detalhada os equipamentos e produtos envolvidos mesmo nos novos equipamentos, através do conceito de Manutenção Preventiva, para que resulte em máquinas com zero defeito ou zero falha.

7. **TPM Administrativo:** o sétimo pilar tem como objetivo eliminar as perdas nos processos administrativos, eliminando os retrabalhos e as atividades que não agregam valor, aumentando o desempenho destes processos.
8. **Segurança, Saúde e Meio Ambiente:** o oitavo pilar tem como objetivo acidente zero, por meio da adoção de estratégias que garantam a segurança, saúde e bem-estar dos funcionários e uma correta preservação do meio ambiente.

A TPM visa a melhoria contínua de longo prazo em desempenho e, portanto, também resulta na melhoria do desempenho financeiro das organizações. Como sugerem Sahoo & Yadav (2020), é razoável assumir um impacto positivo da TPM no desempenho operacional.

2.5 Metodologia DMAIC

A metodologia DMAIC que visa solucionar problemas nas organizações, de forma a reduzir desperdícios e tornar a organização mais eficiente e competitiva, garante uma sequência ordenada, lógica e eficaz na gestão de processos. O ciclo DMAIC é caracterizado pelo seu potencial de solução de problemas e por assegurar a redução na taxa de defeitos e falhas nos produtos, serviços e processos. Cada etapa do ciclo DMAIC possui uma determinada função, e pretende-se que esta metodologia utilize diversas ferramentas *Lean* para auxiliar na execução dessas funções a fim de solucionar o problema. A seguir, é apresentada a metodologia em forma gráfica (Figura 6), que lista algumas das principais ferramentas *Lean* que podem ser utilizadas em cada uma das fases do ciclo DMAIC. É importante notar que algumas ferramentas *Lean* podem ser utilizadas em diferentes fases (Ferreira et al., 2019b).

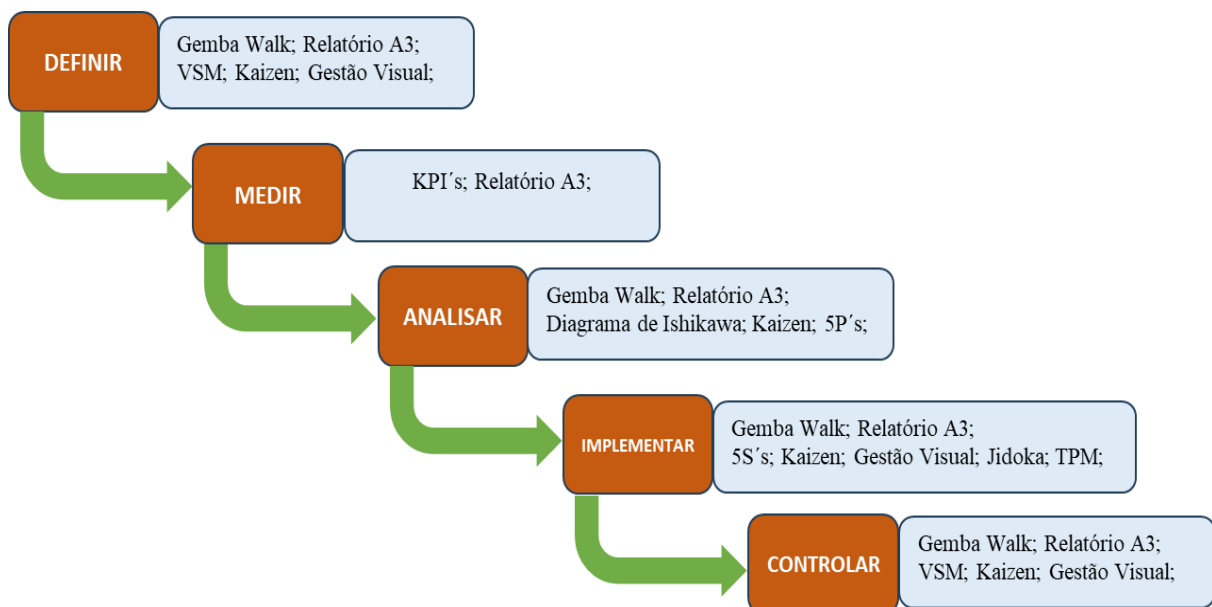


Figura 6-Ciclo DMAIC

Fonte: Adaptado de Ferreira et al (2019a)

O ciclo DMAIC é composto por cinco fases. O problema deve ser primeiro rigorosamente **Definido**, geralmente sob a forma de defeitos produzidos num processo. Depois são estabelecidas as **Métricas** para o problema. Na fase de **Análise**, os dados são recolhidos para explorar as causas raiz do problema. Podem então ser desenvolvidas e **Implementadas** soluções de melhoria para abordar as causas raiz do problema. Finalmente, a eficácia das soluções é **Controlada** após a implementação.

2.6 Relatório A3

O Relatório A3 é um instrumento de comunicação eficaz e, trata-se de uma ferramenta fortemente recomendada para auxiliar os gestores durante o desenvolvimento do planeamento para o caminho certo de uma empresa. Além disso, o Relatório A3 também é utilizado como uma metodologia que auxilia na tomada de decisão, na organização de ideias e na resolução de problemas. Na realidade, esta ferramenta é amplamente utilizada para descrever e mostrar a situação atual do caso que se está a estudar, o que pode levar a propor novas ideias e melhorias para soluções de problemas. Não existe um formulário único para o Relatório A3, mas é possível ter uma estrutura lógica para planejar, fazer, verificar e agir, o que representa a abordagem lógica do ciclo PDCA (Filho & Calado, 2013). O ciclo PDCA foi desenvolvido por Edwards Deming e introduzido no Japão em 1950. O ciclo PDCA (Figura 7) distingue-se pela abordagem sistemática e simples com que orienta as pessoas na implementação de ações que visam a mudança, a resolução de problemas ou a implementação de projetos.

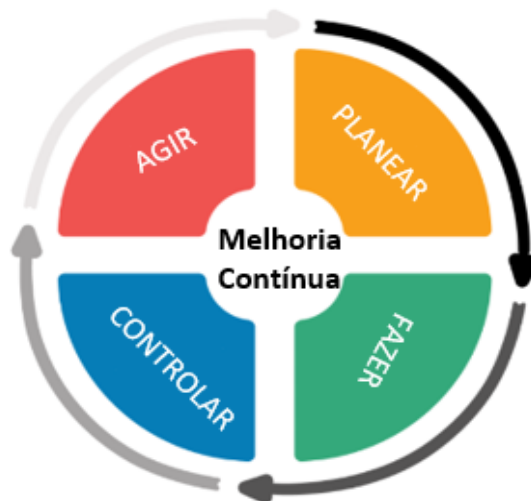


Figura 7-Ciclo PDCA

Fonte: Adaptado de Ciclo PDCA para projetos de transformação digital na indústria (2022)

Como descrito no parágrafo anterior o relatório A3 pode ter várias configurações, de seguida é mostrado um exemplo na figura 8.

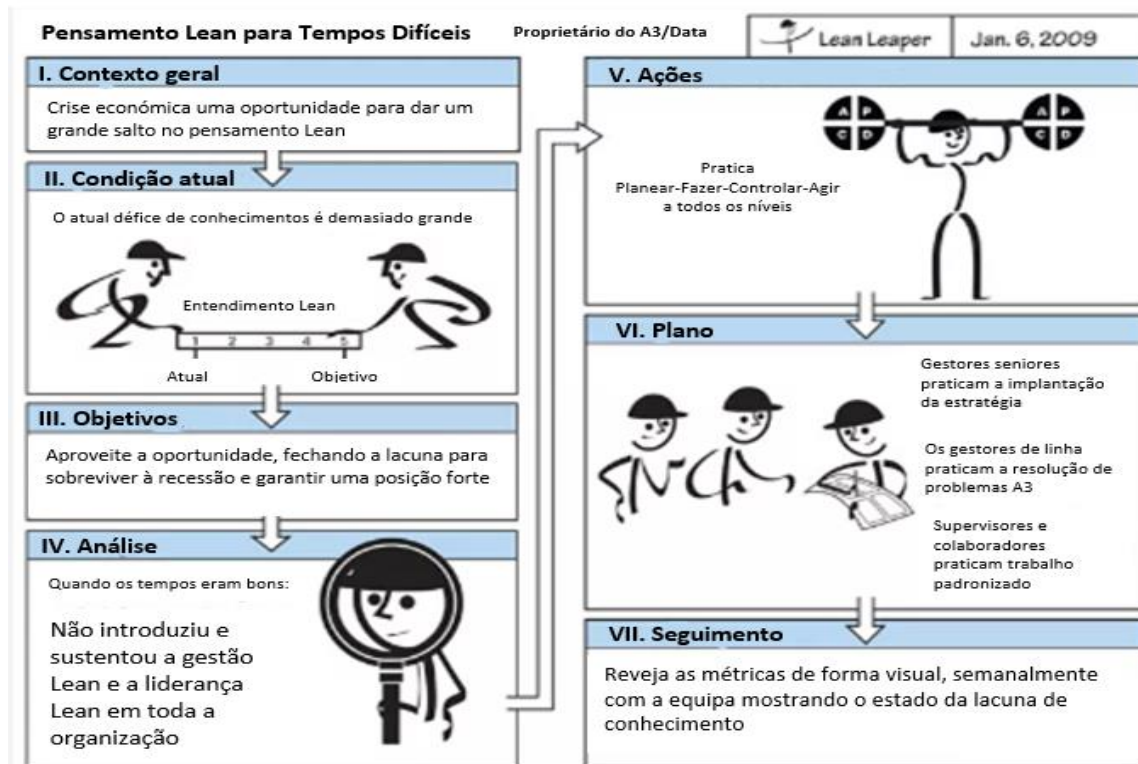


Figura 8-Template de um A3 Report

Fonte: Adaptado de *A3 Problem Solving Tool* (2023)

O relatório A3 deve abarcar uma atividade de “*Hansei*”, ou seja, uma autorreflexão sobre o trabalho desenvolvido pela equipa, no final de cada estudo, para identificar as falhas que ocorreram ou possibilidades de melhoria. Desenvolver novas ações e partilhar as aprendizagens retiradas do estudo por toda a estrutura organizacional “*Yokoten*”.

2.7 Seis Sigma

Seis Sigma é um sistema de gestão que procura melhorar a eficiência dos processos, reduzindo defeitos para alcançar a melhoria da qualidade e a satisfação do cliente. Desde que a Motorola implementou esta abordagem em meados da década de 1980, esta foi objeto de formalização metodológica numa ferramenta de gestão relevante, cujo objetivo é atingir um nível de qualidade de 99,99996%. Esta ferramenta foi estendida gradualmente a outros setores industriais e posteriormente também foi utilizada pelo setor de prestação de serviços (Niñerola et al., 2020). *Seis Sigma* é tanto uma filosofia quanto uma metodologia de melhoria da qualidade, analisando dados estatísticos para encontrar a causa raiz de problemas de qualidade, seguido da definição e posterior implementação de ações corretivas. Os *Seis Sigma* tira partido

de diversas técnicas e ferramentas primárias da filosofia *Lean* como por exemplo, os histogramas, gráficos de fluxo, gráficos de Pareto, indicadores chave de performance (KPI) e diagramas de Ishikawa (Nedeliaková et al., 2017).

Esta metodologia consiste na implementação rigorosa de princípios e técnicas de qualidade, visando atingir um nível de performance nos processos que virtualmente se traduza na inexistência de erros nos produtos. Esta metodologia não é aplicável exclusivamente a processos produtivos, mas é transversal a todos os processos de gestão em organizações.

Uma definição mais comum do *Seis Sigma* é que se trata de um conjunto de ferramentas e técnicas para a resolução de problemas ou melhoria de processos. A utilização destas ferramentas e técnicas é orientada por um método global de melhoria estruturada conhecido como DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*), ciclo este, já explicado anteriormente. O DMAIC encontra-se tão difundido que frequentemente é tido como sinónimo de *Seis Sigma* (Antosz et al., 2022).

3. ESTADO DA ARTE DE FIBRAS DE MADEIRA DE MÉDIA DENSIDADE

Desde 1966, quando o primeiro MDF (Fibras de madeira de Média Densidade) foi produzido comercialmente em Deposit, no estado de Nova Iorque, EUA, o mercado de MDF aumentou drasticamente por todo o mundo. O primeiro MDF foi produzido na Europa em 1973 e hoje a produção europeia rivaliza com a produção dos EUA. Devido à sua disponibilidade numa ampla gama de espessuras e à capacidade de serem maquinados e acabados com um alto padrão de precisão, os painéis de MDF produzidos pelo processo a seco têm sido aceites numa ampla gama de aplicações, tanto na construção, quanto no mobiliário (*European Panel Federation, 2018*).

De modo a fundamentar o caso de estudo, no presente capítulo foi realizada uma revisão de literatura sobre o estado da arte do processo de fabrico de MDF, quais as suas principais matérias-primas de fabrico, e quais são as suas principais variáveis críticas de processo e de produto.

3.1 Caracterização do MDF

O MDF é um material lenho-celulósico, produzido através da aglomeração de fibras de madeira. As fibras resultam de um processo de desagregação termomecânica, a desfibrção. De seguida, as fibras são misturadas com uma cola sintética e submetidas a calor e pressão, sendo mantidas juntas através do seu enlaçamento, do desenvolvimento de pontes da lenhina e, principalmente, pela polimerização das resinas sintéticas adicionadas. Os painéis de MDF são comprimidos até uma densidade de 0,5 a 0,8 g/cm³ numa prensa pelo efeito combinado da aplicação de pressão e uma elevada temperatura, num processo em que a ligação da interface da colagem é originada pelas resinas utilizadas.

O aglomerado de fibras de média densidade possui uma estrutura fina de fibras densamente compactadas em toda a sua espessura, o que permite superfícies suaves e duras, com bordos homogéneos. Estas características do MDF tornam estes materiais aptos para operações de maquinação de elevada precisão. As placas de MDF são fáceis de trabalhar, têm elevada estabilidade dimensional e boas propriedades de resistência mecânica, nomeadamente para fixação de ligações aparafusadas nas suas superfícies (Farajollah Pour et al., 2022).

Os painéis de madeira apresentam vantagens decorrentes da sua matéria-prima de base, nomeadamente a sua renovabilidade, a resistência em relação à sua massa específica, a sua

reciclabilidade, ao que se associa a capacidade de fixar na sua massa grandes quantidades de dióxido de carbono proveniente da atmosfera.

De acordo com a NP EN 316 (2002), o MDF é classificado quanto ao processo de fabrico, como aglomerado de fibras obtido por via seca, ou seja, em que o teor de humidade das fibras é inferior a 20% no estágio de formação, e tem uma massa volúmica igual ou superior a 450 kg/m³ (Farajollah Pour et al., 2022).

Algumas vezes, por razões comerciais, também podem encontrar-se denominações de MDF relativas à sua massa volúmica. Assim, os termos seguintes identificam MDF com diferentes gamas de massa volúmica que se definiram no mercado:

- HDF - MDF com uma massa volúmica > 800 kg/m³;
- MDF leve - MDF com uma massa volúmica < 600 kg/m³;
- MDF ultraleve - MDF com uma massa volúmica < 550 kg/m³.

É também possível fabricar MDF com características especiais, tais como elevada resistência a ambientes húmidos, ao fogo, entre outros (através da escolha correta do tipo de resina e seu teor juntamente com a correta adição de aditivos, dependendo da exigência).

Atualmente existe no mercado MDF com as seguintes propriedades adicionais:

- Resistência ao fogo;
- Resistência à humidade;
- Resistência aos ataques biológicos;
- Coloridos;

Na produção de MDF podem ser utilizadas diferentes espécies de madeira, tanto folhosas como resinosas, embora a maioria da produção atual seja feita com espécies resinosas. O MDF é normalmente composto por: 80 a 90 % de madeira, 8 a 18 % de resina, 0,2 % a 2 % de parafina e catalisadores, cuja quantidade varia em função do tipo de resina, madeira, e aditivos, tais como captadores de formaldeído, agentes retardadores de chama ou pigmentos.

3.2 Matéria-prima Lenhosa

Planta lenhosa, ou simplesmente lenhosa, é a designação dada às plantas que são capazes de produzir madeira como tecido de suporte dos seus caules. Os tecidos lenhosos crescem em plantas vasculares dotadas de um caule perene, localizado acima da superfície do solo. Tipicamente, tais caules são cobertos por uma camada espessa de casca.

Uma planta perene com caule lenhoso contém madeira, um tecido primariamente composto por estruturas de celulose e de lenhina, que dá suporte ao sistema vascular responsável pelos movimentos de água e de nutrientes, desde as raízes às folhas («Planta lenhosa», 2020).

3.2.1 Caraterização química

A madeira é um material heterogéneo, e a sua variabilidade estrutural e química reflete-se nas suas propriedades físicas dos quais são exemplo a sua densidade, a permeabilidade, o comportamento à capilaridade e a condutividade térmica.

A disposição dos seus componentes físicos e químicos define uma estrutura com uma organização arquitetónica muito engenhosa. Do ponto de vista dos componentes químicos, a madeira é essencialmente constituída por dois tipos de compostos: os estruturais e os não estruturais (Figura 9). Os componentes estruturais, dos quais fazem parte a celulose, as hemiceluloses e a lenhina, são as macromoléculas responsáveis pelas propriedades mecânicas da madeira (Kamperidou et al., 2020). Os componentes não estruturais são constituídos por substâncias de massa molecular baixa ou média, do tipo orgânico, os extrativos ou inorgânicos, as cinzas.

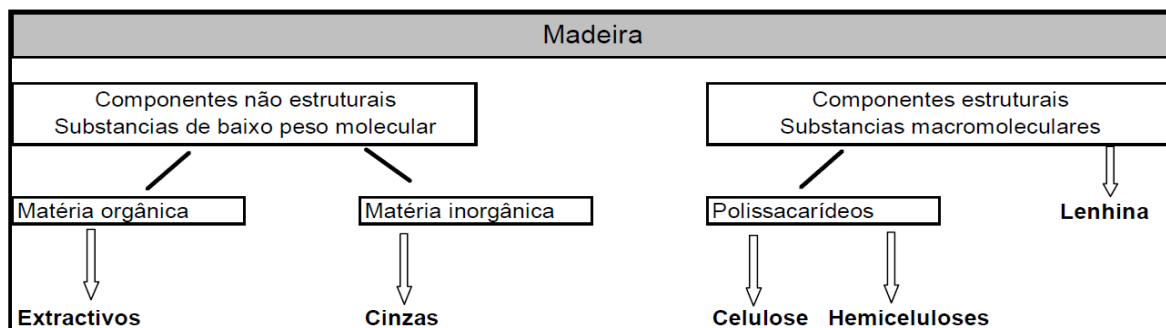


Figura 9-Representação esquemática dos constituintes da madeira

A composição química da madeira varia entre 40 e 50% de celulose, 20 a 30% de hemiceluloses, 20 a 35% de lenhina e 0 a 10% de extrativos. As madeiras de folhosas em média, possuem uma maior quantidade de polissacarídeos e extrativos, enquanto as resinosas apresentam maiores teores de lenhina.

Os extrativos são moléculas pequenas, cuja designação se deve ao facto de poderem ser extraídos da madeira pela ação de solventes. Os extrativos desempenham por vezes funções de defesa contra xilófagos. Além disso, em muitos casos, os extrativos são também responsáveis pela cor e cheiro das madeiras embora por vezes não possuam qualquer função definida.

Relativamente à composição química elementar da madeira, pode afirmar-se que não há diferenças consideráveis nas diferentes espécies de madeira. Os principais elementos existentes são o carbono (C), o hidrogénio(H), o oxigénio (O) e o azoto (N), este último, em pequenas quantidades. Além destes elementos encontram-se ainda pequenas quantidades de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), entre outros elementos.

3.3 Matéria-prima Lenhosa em Portugal para Produção de MDF

Na produção de MDF são utilizadas madeiras folhosas e resinosas de acordo com a sua disponibilidade na zona de localização da unidade fabril. Na indústria portuguesa, as espécies mais consumidas são o eucalipto (*Eucalyptus globulus*) e o pinheiro-bravo (*pinus pinaster*) nas seguintes formas: rolaria (Figura 10 e Figura 11), falheiros (Figura 12) e estilha (Figura 13) proveniente de rejeições das serrações.



Figura 10-Rolaria de pinho



Figura 11-Rolaria de eucalipto



Figura 12-Falheiro de pinho proveniente de serrações



Figura 13-Estilha proveniente de serrações

3.3.1 Caraterização da madeira de pinho bravo

O pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) é uma espécie de pinheiro que teve as suas origens na região da Europa e Mediterrâneo, atualmente encontra-se distribuído praticamente por todo o país.

3.3.1.1 Composição química

A composição química da madeira da espécie *pinus pinaster* é em média 57,4% de celulose, 10,7% de hemiceluloses e 28,6% de lenhina (Vila et al., 2023).

3.3.1.2 Propriedades mecânicas

A madeira de pinheiro-bravo apresenta uma grande variação nas suas propriedades mecânicas, especialmente entre madeiras provenientes de diferentes locais. A massa volúmica varia entre 530 e 550 kg/m³, segundo a norma NP EN 350-2, ou, segundo (Jerez et al., 2007) apresenta uma massa volúmica média de 640 kg/m³ para o pinheiro-bravo de Viana.

Nemli & Aydın, (2007), em estudos realizados com árvores de várias classes de qualidade, referem que a tensão de rotura aumenta no sentido da medula para a periferia e varia entre 80 e 170N/mm². O módulo de elasticidade paralelo ao grão varia entre 5000 e 15000N/mm² e aumenta no sentido da medula para a periferia, assim como da base para o topo da árvore.

A retração da madeira é 7,8% para a direção tangencial, 4,1% para a direção radial e 13,2% para a retração volumétrica (Vila et al., 2023).

3.3.2 Caraterização da madeira de eucalipto

O eucalipto é oriundo da Austrália e Tasmânia, tendo sido introduzido em Portugal em meados do século XIX. O seu habitat eleito encontra-se nas regiões litorais de baixa altitude, inferior a 700 m.

3.3.2.1 Composição química

A madeira de eucalipto apresenta uma composição química que varia com a idade da árvore. Em estudos realizados por Bobis et al. (2020), a madeira de eucalipto com 11 meses contém 5,7 % de extrativos, 21,0 % de lenhina insolúvel e 3,4 % de lenhina solúvel. Os eucaliptos com 2 e 3 anos de idade apresentam um teor de extrativos de 4,2 e 6,9%, lenhina insolúvel entre 22,3 a 25,7% e a lenhina solúvel entre 4,6 a 2,9 %, respetivamente (Bobis et al., 2020). A madeira de eucaliptos com 10 anos de idade apresenta teores de lenhina insolúvel inferiores, que variam entre 17,4 e 20,9%.

3.3.2.2 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas da madeira desta espécie variam significativamente em função da idade da árvore. Árvores adultas apresentam madeira mais densa e mais dura do que as de menor idade. A massa volúmica do eucalipto é em média, para uma humidade de equilíbrio de 12 %, 850 kg/m³, segundo Marini et al. (2022), e 700-800 kg/m³, segundo a norma NP EN 350-2.

Em média a retração da madeira de eucalipto é 12,4%, para a direção tangencial, 7,1% para a direção radial e 21,4% para a volumétrica (Marini et al., 2022).

3.4 Outras Matérias-primas Usadas na Produção de MDF

O MDF pode ser fabricado com espécies de madeira macia ou dura. A maior parte do MDF fabricado é composto principalmente de madeira macia. Os constituintes de um MDF padrão são: 82 fibras de madeira virgem (totalmente ou principalmente madeira macia), 10% de resina sintética, 7% de água, menos de 1% de sólidos de parafina e menos de 0,05% de silício. A resina mais comum é a ureia-formaldeído, embora dependendo do grau, e da utilização final do produto, possam ser utilizadas outras resinas, ou seja, melamina-ureia-formaldeído e resinas fenólicas (*European Panel Federation*, 2023).

3.4.1 Resinas

Há mais de quatro mil anos que o homem recorre à utilização de adesivos, sendo conhecidos diversos indícios do aproveitamento de resinas de algumas árvores, de goma-arábica extraída de essências florestais e até, da aplicação do ovo e da borracha com a mesma finalidade. Na produção dos primeiros papiros era usada uma cola constituída à base de pasta de farinha. Até à Primeira Guerra Mundial, os adesivos eram predominantemente à base de proteínas animais. Desde então foram surgindo novos materiais que, para além de revelarem alguma resistência à água, passaram a permitir a sua aplicação à temperatura ambiente. Atualmente, este tipo de adesivo ainda é empregue em muitos países em aplicações de colagem de madeira para uso interior. Foram também criados adesivos de elevada resistência à absorção de água, à base de albumina sanguínea, recorrendo, no entanto, a processos de cura quente.

A primeira resina sintética, à base de fenol-formaldeído, começou a ser consumida à escala industrial na década de 1930, tendo-se iniciado também na mesma altura a utilização de adesivos à base de ureia-formaldeído na produção de móveis. Para estas resinas, apesar de apresentarem uma menor resistência à água, comparativamente às resinas fenólicas, a cura processava-se a uma temperatura inferior, e com custos unitários também inferiores.

O estudo químico das macromoléculas com melhores características quanto ao seu desempenho como adesivo permitiu uma expansão das indústrias de adesivos à base de resinas vinílicas, poliéster e de poliuretanos. O aparecimento dos adesivos sintéticos potenciou, exponencialmente, a indústria de painéis à base de madeira. A partir de 1930, as resinas líquidas à base de ureia-formaldeído e fenol-formaldeído permitiram o fabrico de painéis aglomerados de madeira com qualidade superior.

Os principais tipos de resinas sintéticas utilizadas atualmente na produção de MDF são quatro:

- ureia-formaldeído;
- melamina-ureia-formaldeído;
- fenol-formaldeído;
- poliuretanos;

3.4.1.1 Resina de ureia-formaldeído

A resina de ureia-formaldeído (UF) é das resinas mais importantes, vulgarmente denominadas de resinas aminoplásticas. Por ano são produzidas cerca de 6 biliões de toneladas no mundo inteiro, com uma percentagem média de sólidos de 66% em massa. As resinas de ureia-formaldeído são baseadas em reações múltiplas de dois monómeros (Jazayeri et al., 2023). Usando diferentes condições de reação e preparação é possível obter uma grande variedade de estruturas condensadas.

As resinas UF são resinas termoendurecíveis e são constituídas por oligómeros lineares. A ureia que não reagiu permite uma maior estabilidade da resina quando armazenada. O formaldeído não reagido tem uma atuação bivalente, ou seja, se por um lado induz a reação de cura, por outro lado provoca a libertação de formaldeído durante o ciclo de prensagem, depois da placa prensada e ao longo do tempo. Este aspeto esteve na origem da completa modificação das resinas UF nos últimos 20 anos. Atualmente pode dizer-se que este problema da libertação de formaldeído está praticamente resolvido na Europa, especialmente na Alemanha e Áustria, que são os países com a regulamentação mais exigente neste âmbito.

Após o processo de cura, a resina UF é insolúvel, e transformou-se numa rede mais ou menos tridimensional que não pode ser fundida novamente mesmo pela ação do calor. Quando armazenada, ou no momento da aplicação, as resinas UF permanecem solúveis podendo ser diluídas em água se for necessário. Apesar do facto destas resinas serem constituídas principalmente por dois componentes, ureia e formaldeído, existe uma variedade ampla de reações e estruturas de resina.

As características básicas destas resinas podem ser encontradas na sua base molecular e são: elevada reatividade, base aquosa e reversibilidade da ligação aminometileno, que explica a sua baixa resistência à água e à humidade, especialmente a temperaturas elevadas, e é também uma das razões para a emissão do formaldeído. As resinas ureia-formaldeído curadas podem

ser hidrolisáveis sob a ação da água ou da humidade, devido às fracas ligações entre o azoto da ureia e do carbono das pontes de metileno, especialmente a altas temperaturas.

3.4.1.2 Resina de melamina-ureia-formaldeído

As resinas melamina-ureia-formaldeído resultam da combinação das resinas ureia-formaldeído com melamina. A adição de melamina confere-lhes maior resistência à humidade, ou seja, maior resistência à hidrólise.

As resinas melamínicas têm custos mais elevados do que as resinas de ureia-formaldeído, mas tem um melhor desempenho na produção de painéis para utilizações com maiores exigências de resistência à humidade.

As resinas melamínicas, à semelhança das resinas de ureia, reagem durante o seu período de armazenamento, reação essa motivada pelo aumento do grau de condensação e aumento de viscosidade. Quanto maior a temperatura, mais acelerado é o aumento da viscosidade. Assim, as resinas melamínicas têm um período de estabilidade mais baixo, e consequentemente o tempo de armazenagem mais reduzido quando comparado com as resinas puramente de ureia. A temperaturas baixas pode ocorrer tixotropia, fenómeno este conhecido por perda de viscosidade quando o fluido é agitado.

3.4.1.3 Resina fenólica

As resinas fenólicas foram os primeiros polímeros sintéticos a serem desenvolvidos comercialmente. Estas resinas são caracterizadas pela presença de um grupo hidroxilo ligado a um anel benzénico aromático que reage com o formaldeído. Como desvantagens podem salientar-se o custo e tempos de prensagem mais longos comparativamente às resinas de ureia-formaldeído.

3.4.1.4 Poliuretanos

Os principais componentes dos adesivos poliuretanos são o álcool (polióis) e isocianatos. Com base na sua estrutura química, os adesivos poliuretanos podem ser classificados em quatro tipos: poliisocianatos, poliuretanos de cura reativa, hidroxipoliuretanos de cura física e dispersões de poliuretanos em água.

As vantagens que estes adesivos apresentam são as seguintes:

- Os grupos hidroxilos da madeira reagem com os grupos isocianatos, formando fortes ligações químicas com boa durabilidade, obtendo-se bons resultados mesmo em madeiras difíceis de colar;
- Reagem com a água existente na superfície da madeira ou com as moléculas de água adsorvidas noutros materiais;
- Elevada resistência mecânica, a excelente molhabilidade, que permite uma boa adesão;
- Boa penetração nos poros da madeira, devido ao pequeno tamanho das suas moléculas;
- Menor tempo de prensagem e menor consumo específico de resina.

Os inconvenientes destes adesivos são: o seu elevado preço que pode ser compensado pela redução do tempo de prensagem, a possibilidade do painel se colar aos pratos da prensa e a toxicidade que exigem condições especiais de manuseamento e utilização.

3.4.2 Parafina

O uso de emulsões de parafina na produção de painéis de MDF provém de procedimentos utilizados na indústria do papel para diminuir a taxa da penetração de líquidos nas estruturas capilares. Assim, o principal objetivo deste tipo de aditivo é conferir aos produtos, maior resistência à penetração da água, ou seja, funciona como um retardante da absorção de água (Baskent Aydemir & Ozkul, 2020)

As emulsões de parafina proporcionam aos painéis de aglomerados de madeira a sua impermeabilização à água e estabilidade dimensional quando molhados. Estas propriedades são importantes para as operações posteriores de colagem, e para proteger o material de possíveis contactos com água durante a sua produção ou manipulação.

Este repelente de água não tem praticamente nenhum efeito ao nível das alterações dimensionais ou absorção de água nos painéis, quando estes se encontram expostos à água em condições de equilíbrio. No entanto, em pequenos períodos, representados pelo teste de 24 horas de inchamento, a presença da parafina é muito importante. Esta impermeabilidade só se verifica no caso da exposição à água, não se aplicando quando os painéis são expostos ao vapor de água.

3.5 Influência das Variáveis de Produção e do Produto nas Características do MDF

As propriedades do MDF, quer físicas, mecânicas ou ambientais, são influenciadas por uma série de variáveis desde a matéria-prima, o processo produtivo, até aos produtos incorporados. Para além da influência de cada fator de uma forma isolada, pode esperar-se também uma interação, formando-se o que Lv et al. (2022) descreveu como uma rede semelhante a uma teia de aranha (Figura 14), onde cada fator exerce influência direta no comportamento de outros fatores.

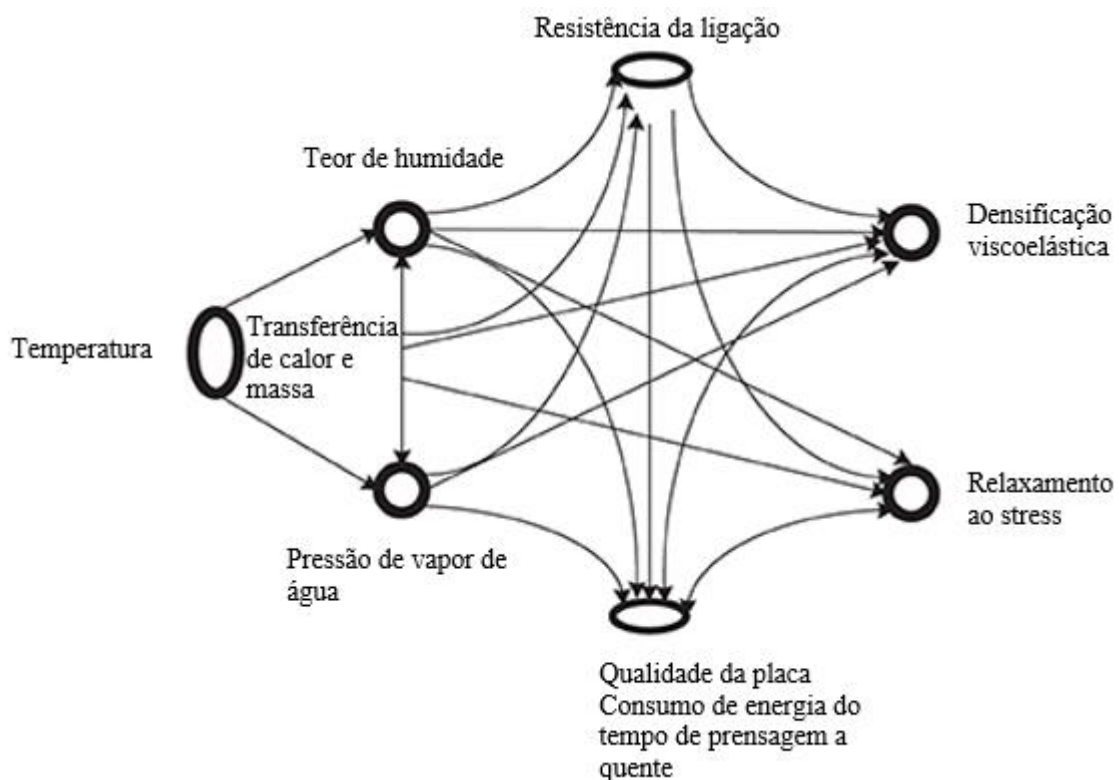


Figura 14-Variáveis de produção e de produto nas características do MDF

Fonte: Adaptado de Lv et al (2022)

3.6 Variáveis de Produção

O MDF é amplamente utilizado na indústria da construção como uma alternativa ecológica à madeira maciça, devido à boa combinação de propriedades mecânicas e térmicas, o que por sua vez lhe confere um preço competitivo. A operação de prensagem a quente é a etapa final do processo de fabrico do MDF onde o colchão de fibras é comprimido e aquecido para promover a cura da resina. O ciclo de prensagem tem um efeito importante no equilíbrio das propriedades finais do painel. A transferência de calor e massa, e a cura da resina são fenómenos complexos que dependem da temperatura, teor de humidade do colchão, pressão de

vapor e distribuição de densidade. Ao sair da prensa, a maioria das placas são arrefecidas, num arrefecedor em estrela, para ajudar a equilibrar a distribuição do teor de humidade e as tensões internas do painel (Magalhães et al., 2020).

3.6.1 Massa volúmica da madeira e tipos de fibra

Em geral, as utilizações de madeiras de baixa densidade permitem a produção de painéis com melhores propriedades mecânicas do que quando se produzem painéis com madeiras de alta densidade. Esta situação decorre da possibilidade de se compactar painéis de média densidade com um elevado contato entre fibras, permitindo assim uma melhor colagem entre elas. As madeiras de baixa densidade permitem a compactação dos painéis com menor pressão. Normalmente utilizam-se taxas de compactação à volta de 1,3 (Li et al., 2016)

Considera-se desejável a não utilização de fibras provenientes de material jovem, como dos desbastes e de rotações curtas, para a produção de painéis duros de fibras produzidas pelo processo seco, devido ao seu maior pH. No entanto, utilizando material híbrido jovem, com seis anos e material adulto proveniente de uma floresta nativa de Faia-Preta "*Populus tremuloides*", não se encontraram diferenças significativas nas propriedades mecânicas nem na estabilidade dimensional dos painéis de MDF fabricados com estas matérias-primas.

Hiziroglu et al. (2004) a partir de testes práticos, afirmaram que as propriedades de rigidez e resistência de painéis de MDF se relacionam inversamente com a resistência das fibras. Painéis de MDF fabricados a partir de Árvore-da-Borracha "*Hevea brasiliensis*" de 3, 8 e 14 anos, com comprimentos de fibras de 1,24; 1,33 e 1,50mm respetivamente, satisfizeram as normas JIS A5906-1993, embora os painéis de fibras das árvores com 3 e 8 anos apresentassem maior resistência à tração perpendicular.

Menor quantidade de finos resulta numa maior movimentação linear, num estudo feito com material híbrido jovem e adulto; maior quantidade de finos traduz-se numa maior compactação, maior densidade do painel e valores mais elevados do módulo de rutura e de elasticidade na flexão estática (Farajollah Pour et al., 2022). Hiziroglu et al. (2018) afirmaram que as fibras mais curtas têm maior superfície total, o que origina um consumo de resina maior, e que fibras mais longas apresentam problemas na formação. Cagdas & Saedi, (2022) apresentaram uma interação entre o comprimento das fibras e o teor de resina, em que as propriedades mecânicas diminuam com o aumento do comprimento das fibras.

Analisando a rugosidade final da superfície de painéis de MDF, Jazayeri et al. (2023) afirmou que o tamanho e a forma das fibras são parâmetros que influenciam esta propriedade do MDF.

Comparando painéis de MDF produzidos com fibras de “*Pinus radiata*” com painéis produzidos com fibras de “*Hevea brasiliens*”, Hiziroglu et al. (2004) afirmaram que o inchamento dos painéis produzidos com as fibras de “*Hevea brasiliens*” é 40% inferior, demonstrando assim que a espécie utilizada como matéria-prima influencia essa propriedade.

3.6.2 Teor de humidade da estilha

Segundo Ozdemir et al. (2009), o fator que mais afeta as propriedades das fibras dos painéis, logo a seguir ao teor de resina, é o teor de humidade da estilha durante o desfibramento. As fibras provenientes de estilhas com baixo teor de humidade permanecem inteiras em feixes, uma vez que o rompimento não estava localizado na lamela média, dificultando assim a formação do colchão.

Aquele autor concluiu que a elevada humidade da estilha aumenta o custo da secagem, produz fibras crespas que dificultam a colagem e exigem mais resina.

3.6.3 Resinas

A grande maioria das resinas para a madeira têm água como agente solvente, pelo que o fator mais importante e que mais afeta a perda de solvente pelo adesivo é o teor de humidade da madeira.

A resina de fenol-formaldeído e as formulações à base de ureia-formaldeído correspondem aos adesivos mais utilizados na colagem de madeira, sendo consumidas em mais de 90% das produções mundiais de painéis à base de madeira fabricados pelo processo seco (Henke et al., 2022).

Uma melhoria nas propriedades dos adesivos é conseguida através do aumento da razão molar formaldeído/ureia. Os valores ideais em termos de resistência são 1 mol de ureia para 1,8 mol de formaldeído, mas esta combinação tem o inconveniente das elevadas taxas de emissão de formaldeído livre, quer durante a produção, quer durante a utilização do painel (Jazayeri et al., 2023). Segundo Nemli & Aydın, (2007), uma resina de baixa razão molar produz MDF com propriedades mecânicas e taxas de emissão de formaldeído que viabilizam a sua utilização em interiores. Para respeitar a emissão de formaldeído, Norma ISO 12460-5, que regulamenta valores de emissão de formaldeído inferiores a 8mg/100g, a razão molar UF atualmente utilizada é sensivelmente 1,1:1, o que se traduz num maior consumo de resina para garantir a mesma qualidade de adesão e conseqüentemente um acréscimo no custo de produção do painel.

Coelho et al. (2008) afirmou que a adição de sais de amónia de ácidos fortes, como o sulfato de amónia, servem de catalisador porque fornecem ácidos que são necessários para

acelerar a cura da resina. Concluiu ainda que o teor de resina está intimamente relacionado com as propriedades dos painéis, e também identificou uma correlação positiva entre o teor de resina e a resistência mecânica (o que se traduziu num aumento da resistência à tração), mas constatou que não há uma relação entre o teor de resina e o tipo de fibra.

Grigsby et al. (2014) concluíram que painéis com elevado conteúdo em resina são mais rígidos e resistentes, embora um aumento do conteúdo de resina de 7,5% para 10% não resulte num incremento das propriedades proporcional ao observado quando do aumento do conteúdo de resina no painel de 5% para 7,5%. Verifica-se uma perda de eficiência da resina, que pode ser avaliada melhor com gamas mais amplas de densidade.

Segundo Farajollah Pour et al. (2022), uma forma de se melhorar a estabilidade dimensional dos painéis é aumentar a percentagem de resina na superfície do colchão de fibras ou o conteúdo total de resina e/ou combinando resinas termoplásticas com fenólicas.

A quantidade de formaldeído absorvido pelas fibras aumenta proporcionalmente com a quantidade de formaldeído adicionado à resina; este comportamento sugere que as fibras perdem capacidade de armazenar formaldeído, depois da prensagem a quente, o teor de resina, mas, segundo Coelho et al. (2008) é um parâmetro que influencia a rugosidade final da superfície dos painéis de MDF.

3.6.4 A desfibração

Existem alguns processos que podem auxiliar o desempenho na desfibração da madeira, quer na obtenção de fibras de qualidade, quer na redução do consumo de energia, tais como a imersão da estilha em água, a aplicação de vapor para enfraquecer a ligação da lenhina entre as células de madeira e a utilização de produtos químicos.

Magalhães et al. (2020) concluíram que o aumento da pressão e do tempo de aplicação de vapor resultam num aumento da estabilidade dimensional e na redução das características físico-mecânicas dos painéis de MDF. A condição ótima encontrada foi 60 a 90 segundos a 11kgf/cm^2 (1,1MPa) de pressão de vapor ou a 90 a 180 segundos a 6kgf/cm^2 (0,6MPa) de pressão de vapor.

Com a utilização de fibras produzidas num desfibrador de discos duplos pressurizado obtiveram-se painéis de melhores características do que em painéis produzidos com fibras provenientes de um desfibrador pressurizado. O método utilizado não teve qualquer impacto nem na adesão interna nem no inchamento em espessura.

Também Nemli & Aydın, (2007) concluíram que a separação das fibras durante a desfibração de “Pinus Pinaster” ocorre na lamela média ou na transição com a parede primária, originando uma superfície de espessura mais uniforme.

O aumento do tempo de desfibração das fibras para a produção de painéis densos resultou na diminuição da quantidade de fibras grossas e no aumento de finos, uma vez que as fibras foram reduzidas a partículas menores. Além da redução do comprimento das fibras, foram observadas deteriorações das paredes das fibras, perdas de pontuações e quebras.

3.6.5 O colchão na prensagem

O teor de humidade das fibras que formam o colchão tem uma função primordial na transferência de calor para a camada interna durante a prensagem, diminuindo assim a resistência à compressão do material e consequente redução da pressão específica necessária à prensagem.

Colchões de fibras com teores de humidade baixos podem provocar problemas aquando da prensagem, não permitindo que a espessura desejada seja alcançada ou se mantenha estável. A humidade do colchão contribui para a redução da pressão específica necessária, uma vez que esta se vaporiza durante a prensagem a quente e torna as fibras plásticas e, ao migrar para as zonas mais frias, transporta o calor para o centro do colchão. Um teor de humidade mais baixo permite a obtenção de um painel com um perfil de densidade mais homogéneo (Magalhães et al., 2020).

Ozdemir et al. (2009), analisando a influência de diferentes teores de humidade do colchão, concluiu que um aumento da humidade resulta na redução de pressão específica necessária à compactação e no aumento da velocidade de transferência de calor para o centro do colchão, mas refere como desvantagem o aumento do tempo de prensagem, correspondendo este ao tempo necessário para retirar a humidade excedente. Para cada material existe um teor de humidade ótimo que permite uma boa transferência de calor sem influenciar negativamente a cura da resina pelo excesso de humidade.

A aspersão de água nas faces do colchão pode, em certos casos, melhorar a qualidade superficial do painel, aumentar a resistência à flexão e aumentar a transmissão de calor para o centro do colchão. A duração da fase de cura da resina é limitada pela velocidade com que o calor chega às camadas internas.

Ozdemir et al. (2009) concluem que o teor de humidade do colchão afeta significativamente o módulo de rutura, a adesão interna, a expansão linear, a absorção linear de água e o inchamento em espessura, sendo que o painel proveniente de um colchão com uma

humidade de 12% apresentou melhores propriedades do que um painel produzido com uma humidade no colchão de 8%. Uma maior humidade nas faces do colchão em relação ao núcleo dará origem a um maior contraste no perfil de densidades.

3.6.6 A prensagem

Halvarsson et al. (2008) referiu que na prensagem estão envolvidos uma série de fatores, nomeadamente o tipo de resina, a catálise da resina, a temperatura de prensagem, a espécie de madeira e a geometria das partículas, a humidade do colchão e a sua relação com o perfil de densidades do painel, a pressão de vapor que se gera dentro do colchão durante a prensagem e a pré-cura e pós-cura das resinas. Na prensagem, cada um destes fatores interage, dificultando o uso de fórmulas fáceis quando se trata de prensagem a quente. Concluiu ainda que uma maior temperatura de prensagem aumenta a densidade do núcleo do painel, diminuindo a densidade das faces, contribuindo assim para a obtenção de um perfil de densidades mais homogêneo.

Este comportamento decorre de uma transferência de calor mais rápida para o núcleo do colchão. Cademartori et al. (2018) dizem que ciclos de tratamentos de calor e ciclos de prensagem mais longos promovem uma redução das mudanças dimensionais e de massa, embora de forma mais acentuada em algumas espécies do que noutras.

3.7 Variáveis de Produto

As características da fibra e as ligações químicas da resina com matérias-primas da produção de painéis de MDF, afetarão diretamente as propriedades do painel, principalmente a resistência mecânica. Promover o aumento da percentagem de resina para agregação das fibras de madeira, normalmente, é sinónimo de maior resistência e estabilidade dimensional (Magalhães et al., 2020).

3.7.1 Massa volúmica do MDF

A densidade é a característica do painel que mais influencia diretamente as outras propriedades. A densificação é uma forma fácil de melhorar as propriedades dos painéis e, em alguns casos, não é necessário recorrer a um consumo superior de resina, uma vez que o aumento da densidade resulta numa utilização mais eficiente da resina. Um aumento da densidade origina um maior contato entre as fibras e, conseqüentemente, uma menor perda de resina em espaços vazios (Farajollah Pour et al., 2022).

Para Halvarsson et al. (2008), o fator que mais influencia as propriedades mecânicas nos aglomerados é a taxa de compactação da matéria-prima, ou seja, a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira. Quanto maior a compactação, maior o contacto entre as

partículas e, conseqüentemente, mais eficaz é o contacto entre as partículas e o adesivo. Assim, pode-se ter painéis com densidades iguais, mas com diferentes taxas de compactação, em função da densidade da madeira consumida.

As propriedades mecânicas estão linearmente relacionadas com a densidade do painel. No entanto, a estabilidade dimensional e a absorção de água não seguem esse comportamento.

Contrariamente aos painéis duros, os painéis de MDF não apresentam relação evidente entre a densidade do painel ou a densidade máxima e rugosidade da superfície, provavelmente devido à maior heterogeneidade do tamanho das fibras (Kamperidou et al., 2020).

3.7.2 Perfil de densidade

O perfil de densidade do MDF, vulgarmente caracterizado por faces mais densas que o núcleo, é formado durante a prensagem. Os pratos aquecidos da prensa transmitem o calor para o colchão de fibras, e a humidade que este contém transforma-se em vapor, que plastifica a lenhina da madeira, permitindo assim a sua compressão. Este processo ocorre inicialmente nas faces, uma vez que estas são as primeiras a entrar em contacto com o calor. O núcleo do painel, nos primeiros instantes da prensagem resiste à compressão uma vez que está frio. Quando finalmente atinge a temperatura que permitiria a sua compactação, o painel já atingiu a espessura objetivo, não sendo necessário compactá-lo mais (Halvarsson et al., 2008).

Farajollah Pour et al. (2022), ao explicarem a formação do perfil de densidade, mencionam como fatores mais relevantes o tempo de fecho da prensa, o teor de humidade das faces e do núcleo do colchão, e a pressão atingida. Quanto maior o tempo de fecho, menor é o contraste entre a densidade das faces e do núcleo. Colchões com um teor de humidade mais elevado nas faces que no centro originam perfis de densidade com maior contraste. Relativamente à pressão atingida, quanto maior esta for, menor é o contraste de densidades faces /núcleo.

O perfil de densidade é um importante fator de caracterização do tipo de MDF e, mediante a sua utilização final, este pode desempenhar uma função primordial no sucesso do produto, nomeadamente quando se trata de um tipo de MDF vocacionado para fresagem no núcleo.

O perfil de densidade tem uma maior importância em painéis de espessura mais elevada. Nestes painéis, quanto maior o contraste de densidade face-núcleo, melhor é o módulo de elasticidade, mas em contrapartida a adesão interna, a maquinabilidade e a resistência ao arranque do parafuso lateral são prejudicados (Farajollah Pour et al., 2022). Coelho et al. (2008) estudaram a relação entre o perfil de densidade e as propriedades físico-mecânicas dos painéis

de MDF e a qualidade da superfície maquinada, e mostraram que existe uma correlação forte entre o perfil de densidades e a qualidade de superfície, originando-se uma menor qualidade superficial, com mais rugosidade, quando as camadas mais internas do MDF são expostas.

Grigsby et al. (2014) concluíram existir uma relação entre o perfil de densidade e o teor de formaldeído emitido, ao verificarem que painéis com uma elevada densidade superficial emitiram metade do teor de formaldeído dos painéis com menor densidade superficial.

4. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA SONAE ARAUCO

A Sonae Arauco nasce da aliança entre duas grandes marcas do mundo da madeira: Sonae indústria e Arauco. Ambas partilham a mesma ambição de crescimento internacional e visão de longo-prazo do negócio. Ambas acreditam que tudo o que fazem é pelas pessoas e por um planeta melhor. Ambas sonham com um futuro sustentável e assente em economia circular.



Figura 15-Logotipo da Empresa Sonae Arauco

Fonte: Adaptado (SA Brochure, 2022)

4.1 Sonae Arauco

A Sonae Indústria foi fundada no ano de 1959 na Maia (Figura 16), onde tem sede, com o objetivo de produzir termolaminados decorativos.



Figura 16-Sede Sonae Indústria

Fonte: Adaptado (SA Brochure, 2022)

Em 2016 nasce a Sonae Arauco, a Sonae Indústria estabelece uma joint-venture com a empresa florestal sul-americana Arauco, resultando na Sonae Arauco, detida em partes iguais pelos parceiros. A parceria engloba as operações de painéis derivados de madeira e atividades conexas na Europa e na África do Sul, nomeadamente todas as unidades de produção de painéis derivados de madeira, produtos químicos e papel impregnado (SA Brochure, 2022).

4.1.1 Visão

A visão da Sonae Arauco é criar soluções de madeira para uma vida e um planeta melhores. Acredita no valor da madeira na vida das pessoas. Tem como propósito criar soluções de madeira, que sejam sustentáveis e melhorem a qualidade de vida. Ambiciona ser a marca de eleição dos clientes, colaboradores, fornecedores e das comunidades onde está inserida (*SA Brochure, 2022*).

4.1.2 Missão

A missão da Sonae Arauco é proporcionar produtos derivados de madeira que melhorem a vida das pessoas. A Sonae Arauco tem uma alma industrial e acredita em parcerias que perduram no tempo. Procura a excelência e os melhores resultados de longo-prazo, para si mesma e para os parceiros. Esta empresa quer levar as ambições dos clientes ainda mais longe, oferecendo-lhes a melhor relação entre competência industrial, funcionalidade, qualidade, design e preço (*SA Brochure, 2022*).

4.1.3 Valores

A Sonae Arauco tem orgulho na sua alma industrial. Com uma visão de crescimento sólido e de longo-prazo do negócio, é uma empresa que nasce com raízes fortes e com a ambição de perdurar por gerações. Tem a coragem de correr riscos e a capacidade financeira para os encarar como novos desafios, sabendo que os conhecimentos e elevados padrões de qualidade a levaram sempre mais longe (*SA Brochure, 2022*).

4.2 Sonae Arauco Mangualde

A unidade fabril de Mangualde (Figura 17) nasceu em 1988 e é responsável pela produção de painéis de madeira de MDF, com um volume de produção em torno de 275489 m³/ano tendo como principal destino o mercado ibérico.



Figura 17-Sonae Arauco Mangualde

4.2.1 Principais produtos

Os principais produtos que se fabricam na unidade industrial de Mangualde são os seguintes:

- (AB0B1) MDF ST CARB2/EPA
- (AB0B8) MDF ST E05/CARB2/EPA/I
- (AB0F1) MDF MR HYDRO X (G) CARB2/EPA
- (AB0F3) MDF MR HYDRO X (N) CARB2/EPA
- (AB0F5) MDF BASIC LSW CARB2/EPA
- (AB0L1) MDF FR FIRE X (R) CARB2/EPA
- (AB0L3) MDF FR FIRE X (N) CARB2/EPA
- (AB0N1) MDF NOVOLAC CARB2/EPA
- (AB0S1) MDF SUPERLAC CARB2/EPA
- (AB0S8) MDF SUPERLAC E05/CARB2/EPA/I
- (AB0T1) MDF BASIC CARB2/EPA
- (AB0VP) MDF PACK

Deste conjunto de produtos é de destacar os produtos F1, F3 e F5 por apresentarem maior resistência a ambientes húmidos pois são produtos hidrófugos. Há ainda a destacar os produtos retardadores de chama (ignífugos) que são designados internamente por L1 e L3.

Nos restantes produtos o que difere entre eles como principais parâmetros de produção é a densidade e o tipo de acabamento pretendido pelo cliente.

Os produtos que representam maior volume de produção são os B1 e B8 onde o B1 é um produto de qualidade standard e o B8 é um produto com características mecânicas mais elevadas do que o B1.

No gráfico 2 é apresentado o volume anual de produção por tipo de produto.

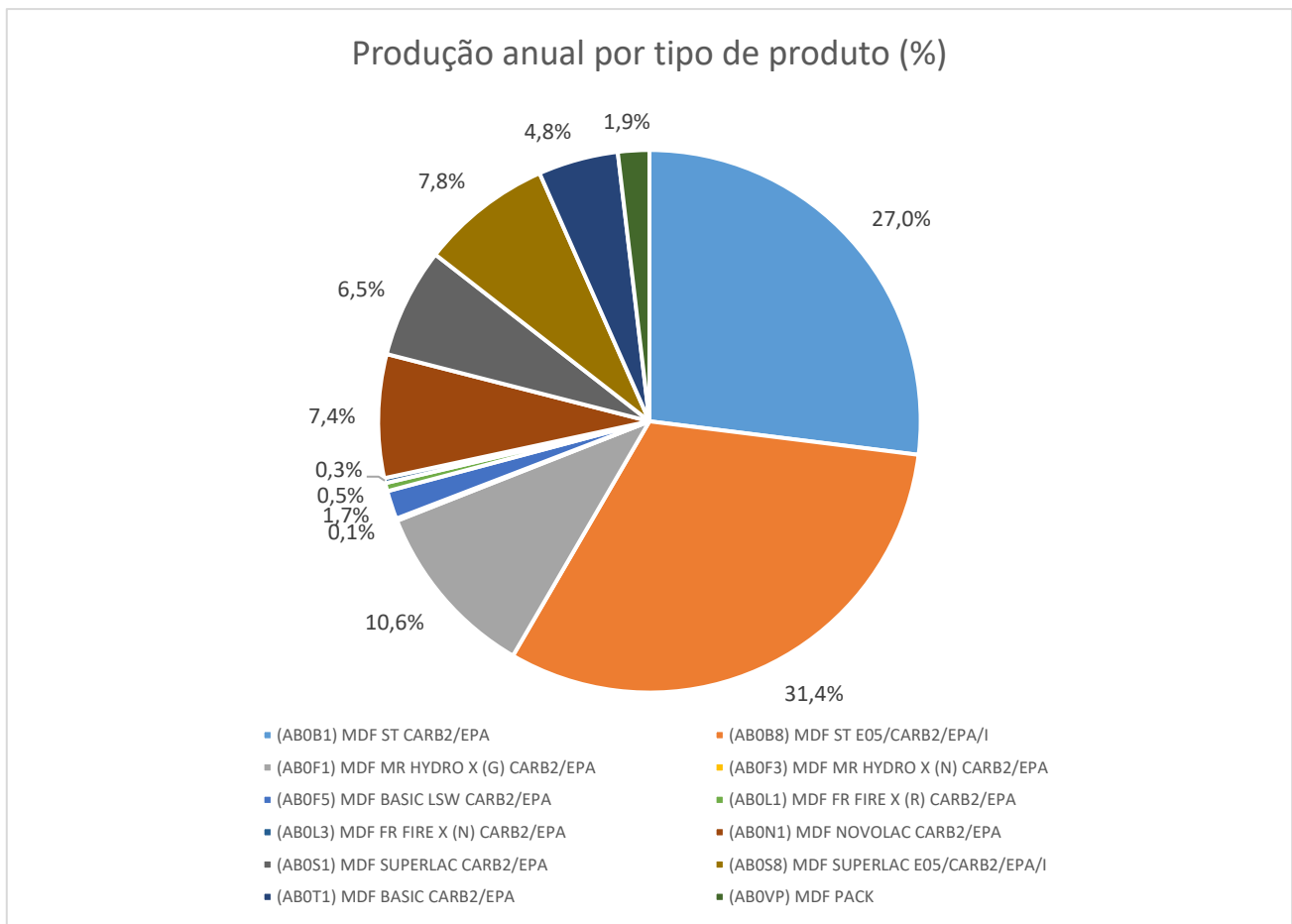


Gráfico 2-Produção anual por tipo de produto

4.2.2 Organograma

A Sonae Arauco de Mangualde, à semelhança das outras fábricas do grupo detém uma estrutura organizacional bem definida onde consta o responsável máximo pela fábrica, o Plant Manager, e uma equipa de staff multifacetada. Esta estrutura está representada na figura 18.

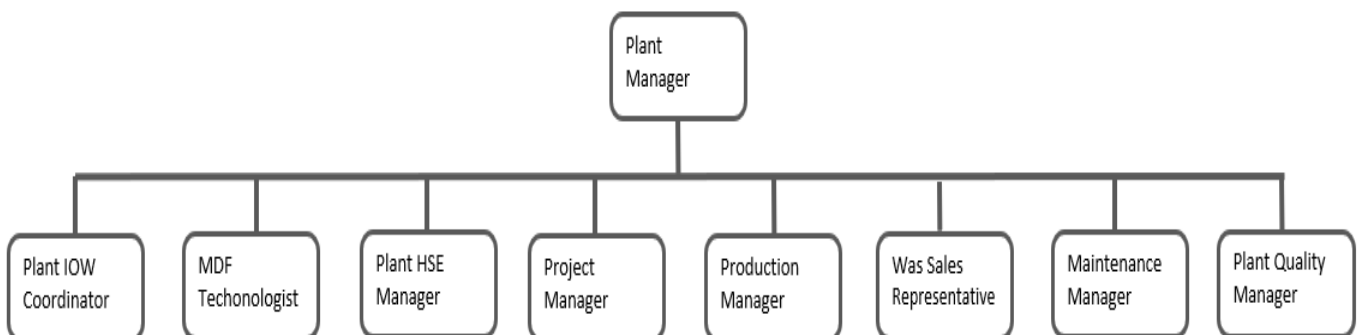


Figura 18-Organograma Sonae Arauco Mangualde

4.2 Descrição do Processo Produtivo

O MDF é fabricado através da aglomeração de fibras de madeira produzidas por um processo mecânico de refinação a altas temperaturas. Existem vários tipos de MDF, diferenciados, essencialmente pelos métodos de secagem da fibra, pelo tipo e quantidade de resina adicionada e pela densidade obtida através da variação das condições de prensagem.

4.2.1 Fluxograma de produção

De seguida é tratado com mais detalhe o processo produtivo apresentado no fluxograma (Figura 19), onde foram fabricadas as placas utilizadas neste estudo, denominado vulgarmente por fabrico por via seca.

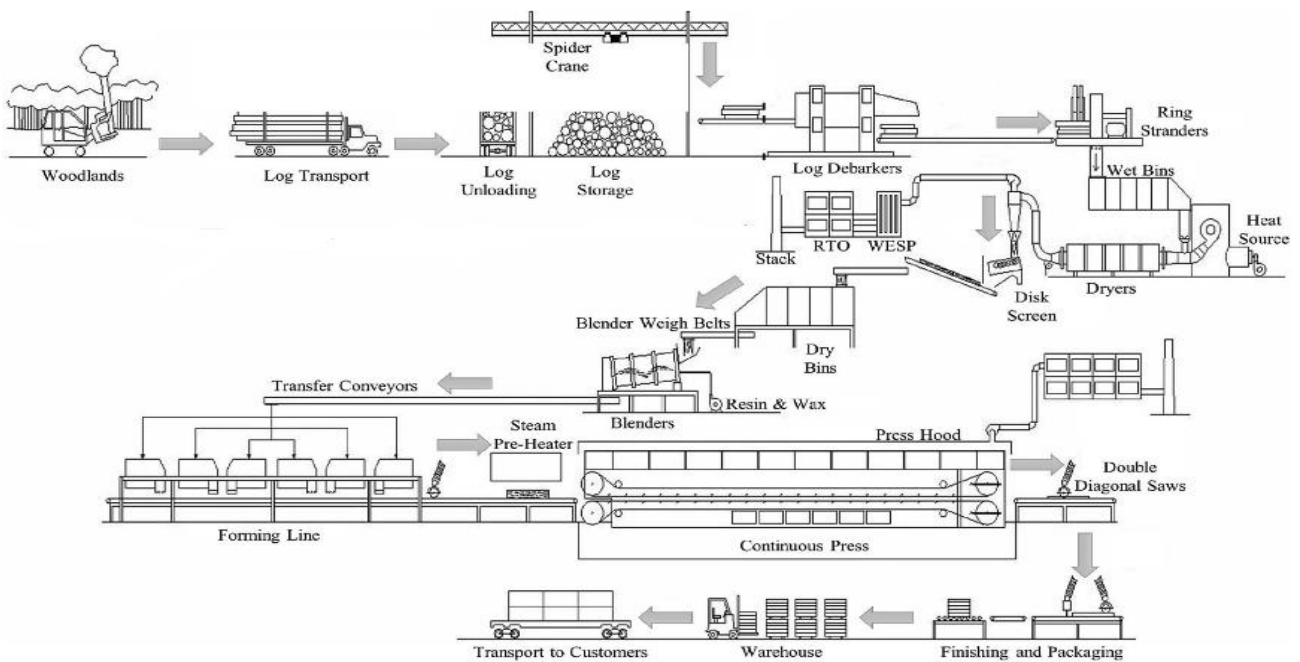


Figura 19-Fluxograma representativo do processo produtivo do MDF

Fonte: adaptado (Tasdemir & Hiziroglu, 2019)

4.2.2 Descasque da madeira e produção de estilha

A rolaria é submetida a um processo de descasque por atrito, e de seguida é triturada num destroçador (Figura 20) para formar pequenas partículas de madeira comumente designadas por estilha, normalmente com uma dimensão de cerca de 20 mm. Os vários tipos de estilha são armazenados em silos ou ao ar livre, para desta forma servirem de matéria-prima ao processo produtivo.

A casca resultante do descasque é utilizada como combustível numa central de biomassa operada pela “Capwatt” (Capwatt é uma empresa do Grupo Sonae dedicada à gestão de serviços de energia).



Figura 20-Destroçador

4.2.3 Crivagem e limpeza da estilha

A estilha é crivada num crivo rotativo de forma a obter as partículas com as dimensões pretendidas (Figura 21). Normalmente são consumidas partículas com dimensões inferiores a 40mm e superiores a 5 mm. A estilha com as características dimensionais desejadas é tratada de forma a eliminar impurezas, nomeadamente sílica e metal, que teriam posteriormente um efeito indesejável na diminuição do tempo de vida das ferramentas de produção e corte usadas no fabrico do MDF.



Figura 21-Crivo de estilha

No processo de remoção de contaminantes metálicos da estilha, esta passa por um tambor magnético (Figura 22) onde é submetida a um campo eletromagnético que atrai os contaminantes metálicos ferrosos. De seguida a estilha é lavada no tambor lavador (Figura 23) com água e qualquer tipo de sílica que possa existir é decantada.



Figura 22-Tambor magnético



Figura 23-Tambor lavador

Este sistema apresenta as seguintes vantagens: melhoria na qualidade do MDF motivada pela diminuição do teor de sílica e, consequentemente redução do desgaste das ferramentas dos consumidores de MDF; aumento do tempo de vida dos segmentos do desfibrador e; redução do desgaste das ferramentas na produção do MDF nomeadamente do parafuso sem-fim de alimentação ao desfibrador.

4.2.4 Cozimento da estilha e produção de fibra

Para homogeneizar a humidade e temperatura da estilha e, torná-la mais macia, a estilha é levada para uma tremonha (Figura 24) a cerca de 90°C, antes de ser enviada para o pré-aquecedor a fim de ser cozida. Na entrada para o pré-aquecedor existe um parafuso sem-fim que espreme a estilha a 2.5bar de pressão para remover entre 60 e 70% da humidade da estilha. No pré-aquecedor a estilha é cozida durante alguns minutos variando entre 2 e 4 minutos com vapor, sob pressão de 6 a 9 bar e temperaturas entre 140°C a 170°C, de forma que a lamela média fique amaciada, perdendo o seu poder de agregação e passando a ter características plásticas. Assim as fibras podem ser separadas com uma maior facilidade no processo seguinte, a desfibrção (Figura 25) que representa o processo de maior consumo de energia eléctrica no processo de produção do MDF.



Figura 24-Tremonha de estilha

O processo de desfibrção consiste na passagem da estilha numa abertura estreita entre dois discos, um móvel e outro fixo do desfibrador. As fibras individuais ou aglomerados de fibras são mecanicamente rasgadas das superfícies das partículas de estilha cozida.



Figura 25-Pré-aquecedor e desfibrador

4.2.5 Adição de cola e aditivos

A adição de cola (resina e catalisador), bem como dos aditivos e parafina ou emulsão de parafina, é normalmente feita entre o refinador e o secador, numa linha de colagem conhecida como “*Blowline*”, onde as fibras húmidas se misturam com vários agentes químicos.

As fibras são normalmente coladas com resina de ureia-formaldeído (UF) para produzir painéis cuja utilização vai ser em interiores. A combinação ureia-melamina ou outras resinas (isocianatos ou fenólicas) podem ser utilizadas com agente de colagem sempre que se pretenda melhorar alguma propriedade do MDF, nomeadamente a sua resistência à humidade. Podem também ser utilizados aditivos para conferir novas características, como por exemplo um agente ignífugante, ou captadores de formaldeído, para conferir propriedades ignífugas e baixos teores de formaldeído aos painéis.

4.2.6 Secagem, formação do colchão e pré-prensagem

Após encolar, as fibras são sujeitas a um processo de secagem com gases quentes, até um valor de humidade entre 7 e 12%. De seguida as fibras passam por um processo de separação dos contaminantes que ainda possam estar presentes, usando para tal um ventilador que obriga a fibra em condições de ser processada seguir o trajeto normal do processo e a restante fibra e os contaminantes decantem e sejam retirados do processo. As fibras secas, já com a resina, são depositadas numa tela de formação, originando ligações mecânicas entre as fibras e formando-se assim o colchão (Figura 26). O colchão de fibras é primeiramente comprimido por uma pré-prensagem. Dependendo do produto, a pressão de trabalho encontra-se numa gama cerca dos 160bar, de forma que seja retirada a maior quantidade possível de ar que se encontra no seio do colchão. Esta compactação, para além de provocar uma redução da altura do colchão, permite também que a manta não se parta durante o transporte até à prensa e que o aparamento dos bordos por serras de bordear seja mais perfeito.

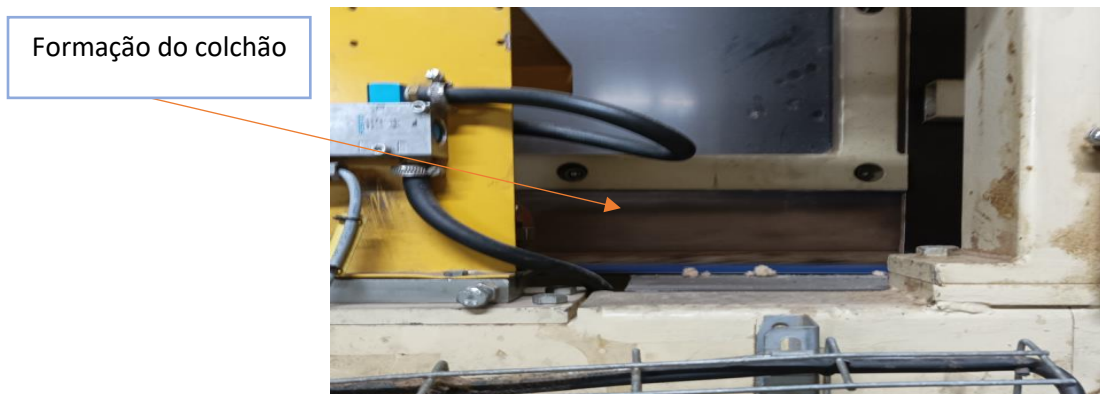


Figura 26-Formação do colchão de fibra

A altura do colchão deve ser o mais baixa possível para que a abertura da prensa seja mínima. Esta prensagem a frio pode duplicar ou triplicar a densidade do colchão. O colchão após pré-prensagem está exposto na figura 27.



Figura 27-Colchão após pré-prensa

4.2.7 Prensagem

Depois das fibras terem sido comprimidas na pré-prensagem, o colchão é aparado longitudinalmente na dimensão pretendida e passa ao processo seguinte, o de prensagem a quente. A prensagem é uma das fases primordiais na produção de painéis de madeira. É nesta fase que se determina a espessura e densidade do painel, através da execução de um ciclo de prensagem. O ciclo de prensagem é normalmente caracterizado por três variáveis: tempo, temperatura e pressão específica. A conjugação destes três fatores permite obter um painel com a densidade, espessura e o perfil de densidades adequado aos requisitos do produto que satisfaçam a necessidade do cliente.

4.2.8 Pré-corte e estabilização

Após a saída da prensa, os painéis com temperaturas altas na ordem dos 110°C e 130°C, são cortados em painéis-mãe em medidas que permitam o aproveitamento máximo dimensional de acordo com as especificações de cada cliente. Os painéis são encaminhados para um sistema de arrefecimento em carrossel, ficando com as duas faces expostas ao ar ambiente. Esta operação previne a hidrólise da resina na operação seguinte.

Posteriormente os painéis são empilhados em paletes com uma altura máxima de 710mm por palete e depois encaminhadas para o armazém de produto de semiacabado (Figura 28) onde, dependendo das especificações de cada produto, ficará a estabilizar mecanicamente entre 24 a 62 horas.



Figura 28-Armazém de produto semiacabado

4.2.9 Lixagem, corte e embalagem

Após término do tempo de estabilização, os painéis são encaminhados para as linhas de acabamento, onde vão ser sujeitos a um processo de lixagem com grãos que variam entre 60 e 180, até se atingir a espessura pretendida e o tipo de acabamento superficial pretendido pelo cliente. Seguindo as especificações dos clientes, os painéis são cortados e embalados em paletes (Figura 29), tendo a embalagem como objetivo principal a proteção do material e facilitar o seu manuseamento quer na armazenagem do produto acabado quer no seu transporte.



Figura 29-Embalagem final

4.3 Análise face à situação em matéria de qualidade e metodologia *Lean* da Sonae

Arauco Mangualde

Todas as fábricas do Grupo Sonae Arauco são certificadas pelos seus sistemas de Gestão da Qualidade, Gestão Ambiental, e Gestão da Saúde e Segurança no Trabalho, de acordo com as normas internacionais ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, respetivamente, sendo que a maioria está também certificada segundo os Sistemas de Gestão da Energia, de acordo com a norma internacional ISO 50001:2018.

A norma ISO 9001:2015 é a norma internacional para Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ) que assegura consistência e aperfeiçoamento de práticas de trabalho, incluindo os produtos produzidos e serviços prestados. É um sistema baseado em normas, que especifica procedimentos para atingir um sistema de gestão da qualidade efetivo.

No gráfico 3 está demonstrado o nível de exigência e rigor que se imprime todos os dias na unidade fabril de Mangualde, com o objetivo de fazer bem à primeira vez de 97,6% (linha cor-de-laranja). Com o envolvimento de todos os colaboradores em matéria de qualidade conseguiu-se servir cada cliente com o melhor que a Sonae Arauco tem para oferecer, soluções à base de painéis derivados da madeira.

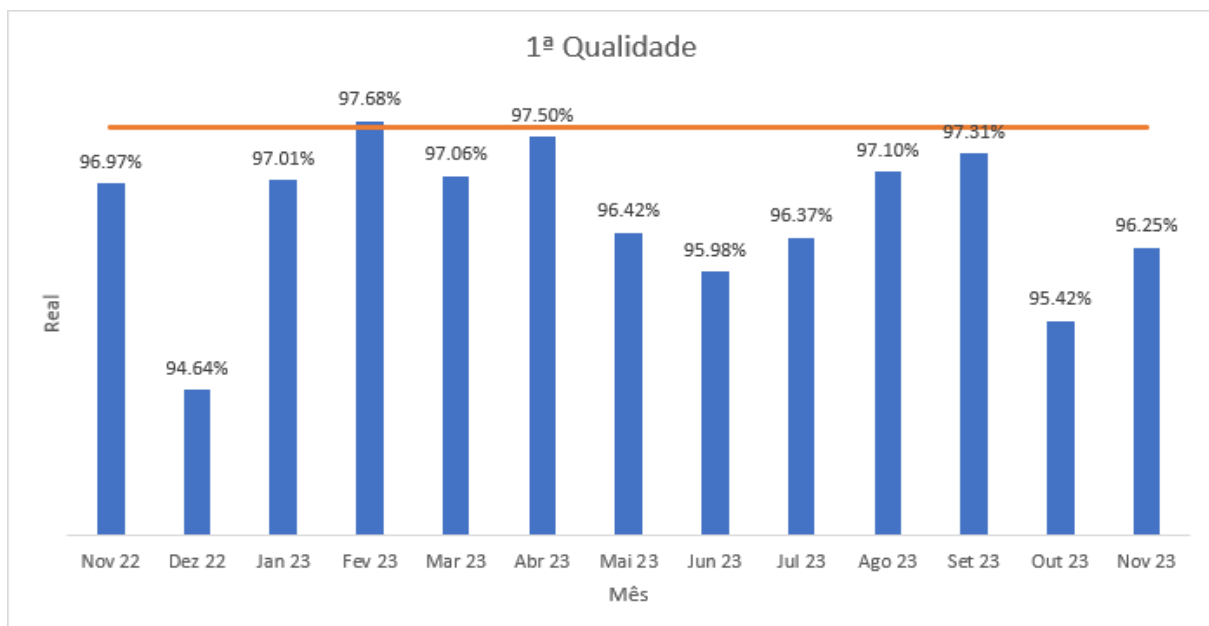


Gráfico 3-1ªQualidade mensal Sonae Arauco Mangualde

Para assegurar que cada cliente é servido com o máximo de qualidade que a Sonae Arauco tem para oferecer, todos os produtos concebidos nesta unidade fabril são alvo de um controlo de qualidade rigoroso.

Em laboratório são controlados os seguintes parâmetros:

- Teor de Formaldeído: Método Perfurador;
- Inchamento e absorção de água;
- Massa Específica;
- Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade;
- Teor de Humidade;
- Teor de Sílica;
- Resistência à Tração Perpendicular Placa;
- Perfil de Densidade;
- Rugosidade da superfície;
- Absorção Superficial;

Nas linhas de produção a qualidade também se encontra fortemente presente aplicando o conjunto de métodos de controlo que se passa a indicar:

- Densidade da fibra à entrada das linhas de prensa;
- Controlo dimensional feito automaticamente aquando da produção (linhas de prensagem);
- Controlo dimensional e superficial feito manualmente, à entrada para o armazém de produto semiacabado;
- Controlo dimensional feito automaticamente aquando da produção (linhas de acabamento);
- Controlo dimensional e superficial feito manualmente, à saída para o armazém de produto acabado;

Cada parâmetro é anotado com a respetiva frequência no Plano de Monitorização e Medição (PMM). Com estes controlos normativos tenta-se obter a perfeição, envolvendo toda a estrutura organizacional para combater todos os defeitos que advêm do processo.

Uma estratégia comumente usada pelos operadores para reconhecer que um problema existe no sistema de produção é monitorizar os alarmes das máquinas, monitorizar sistemas operacionais e dar ênfase aos defeitos que aparecem no produto. Desta forma pode-se combater a causa raiz do problema, usando a metodologia *Lean* para o chão de fábrica evidenciar os problemas do sistema produtivo. Para isso todos os postos do departamento da produção têm quadros de posto semelhantes ao que se apresenta na figura 30.

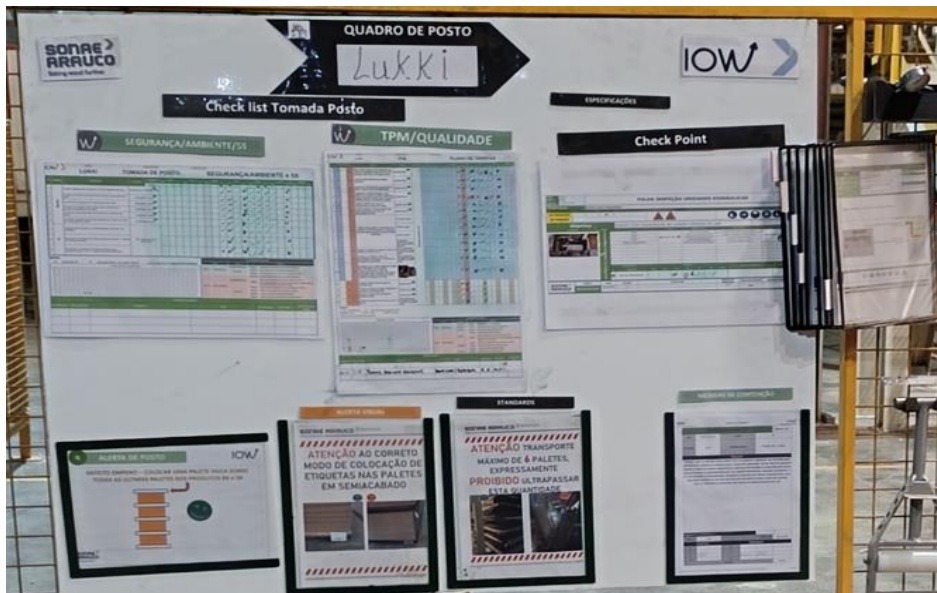


Figura 30-Quadro de posto do Lukki (Sistema para armazenar paletes no armazém de semiacabado)

Para a empresa o valor primordial está nas pessoas e por isso no quadro de posto, aparece em primeiro lugar um *checklist* de segurança, onde uma vez por turno os colaboradores devem verificar as condições de segurança do seu posto. Em segundo lugar está um *checklist* de TPM/Qualidade, onde o colaborador verifica que ações deve fazer, quais são as limpezas do seu local de trabalho e do seu equipamento, fazer as respetivas verificações, quer ao nível do bom funcionamento do equipamento, quer inspeções que possam afetar diretamente a qualidade do produto. O standard de preenchimento, consiste no preenchimento com cor verde para as situações OK e com cor vermelho para situações NOK. Para cada situação NOK é definida uma ação para resolver a não conformidade.

Os operadores podem ainda consultar alertas de segurança, alertas de qualidade e medidas de contenção que estejam ativas, pois nem sempre se encontra a causa raiz do problema de imediato e assim, este documento (medida contenção) serve como ferramenta para mitigação do defeito ou risco de segurança existente no posto de trabalho. Estes quadros de posto todos os dias são verificados por elementos dos quadros superiores nos “*gemba walk*¹” e todas as não conformidades são discutidas em reuniões próprias para o efeito de forma a resolver os problemas que o chão de fábrica expõe.

¹ O *Gemba walk* é uma parte essencial da filosofia de gestão *Lean*. Tem com propósito permitir que os gestores e líderes de equipa observem o processo de trabalho real, entrem em contato com os colaboradores, obtenham conhecimento sobre o processo de trabalho e explorem oportunidades para melhoria contínua.

5. CASO DE ESTUDO

O caso de estudo deste relatório de estágio incidiu no fabrico do produto 9T1, na Prensa 2, tendo por base a implementação de ferramentas *Lean* e *Seis Sigma* para a melhoria de qualidade, sustentada na utilização do ciclo DMAIC. Dadas as vantagens da implementação do DMAIC, nomeadamente, o aumento da eficiência, da rentabilidade e da redução da variabilidade dos processos, a sua implementação é uma mais-valia para este caso de estudo.

O desenvolvimento prático do estudo, centrou-se na standardização e implementação de propostas de melhoria contínua com o intuito de solucionar os problemas que este tipo de produto representa para esta prensa.

5.1 Caracterização do Caso de Estudo

Este caso de estudo considerou o produto básico T1 com 9mm de espessura de painel (9T1). É um produto produzido com padrões de qualidade inferior aos produtos da gama B1. Este produto representa cerca de 4421m³ de produção anual, ano de 2022, o que correspondeu a 4,8% da produção como ilustrado no gráfico 4.

O produto 9T1 foi o produto mais produzido desta gama no ano de 2022 como o gráfico 3 demonstra.

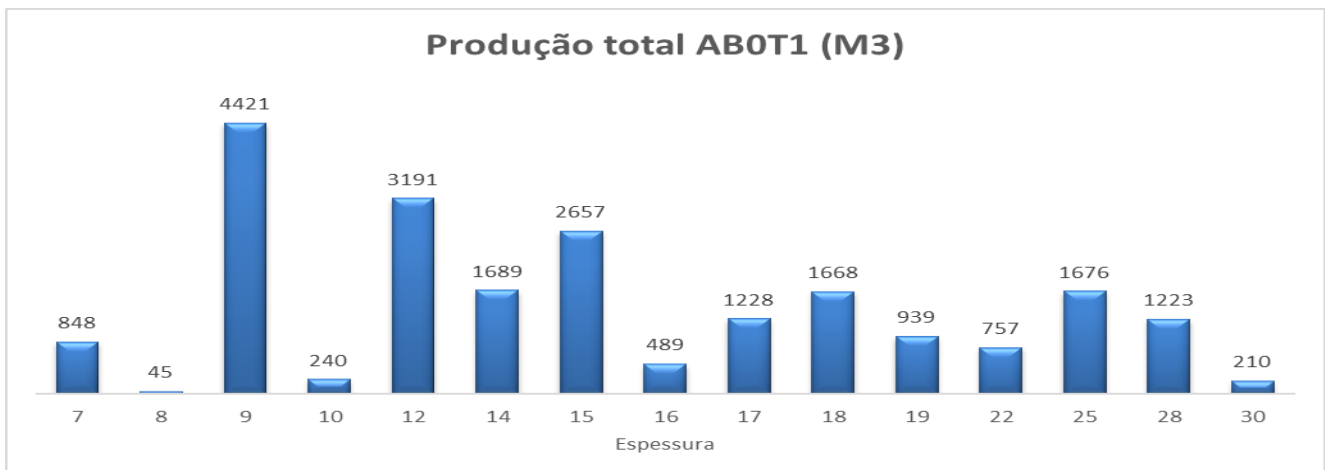


Gráfico 4-Produção total do produto AB0T1

5.2 Aplicação da Metodologia DMAIC

De modo a abranger a variedade de parâmetros e aspetos considerados no caso de estudo, entendeu-se que a metodologia DMAIC aplicada no método *A3 Report* seria o melhor método, pois constitui um método organizado e sequencial que permite a identificação de problemas e respetiva resolução, tendo como principal foco a melhoria contínua dos processos.

Para tal, foram aplicadas as ferramentas representadas na figura 31, próprias para os objetivos de cada fase da metodologia;

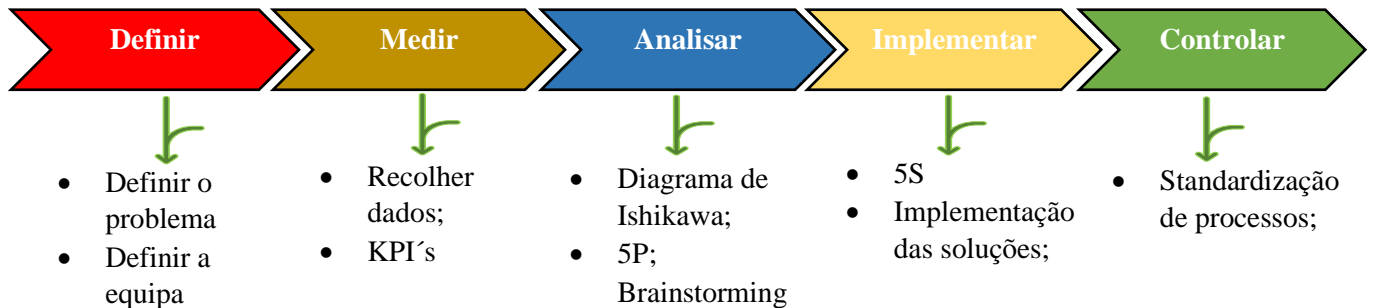


Figura 31-Ferramentas utilizadas em cada fase da metodologia DMAIC

Desta forma, o caso de estudo seguiu as cinco fases distintas, com o objetivo de concretização do que é proposto na revisão bibliográfica do método referido.

5.2.1 Fase 1 - Definir

O produto 9T1 tem como principal prensa de produção a Prensa 3 pois esta foi desenhada e construída com o propósito de fabricar espessuras finas, espessuras de 2mm a 12mm enquanto a Prensa 2 está mais dedicada a espessuras grossas, de 12mm a 36mm

A Prensa 3, produziu em 2022, 4202m³ e no ano de 2023, até 14 de setembro produziu 5086m³, enquanto a Prensa 2 produziu 219m³ e 161m³ respetivamente, como exposto no gráfico 5.

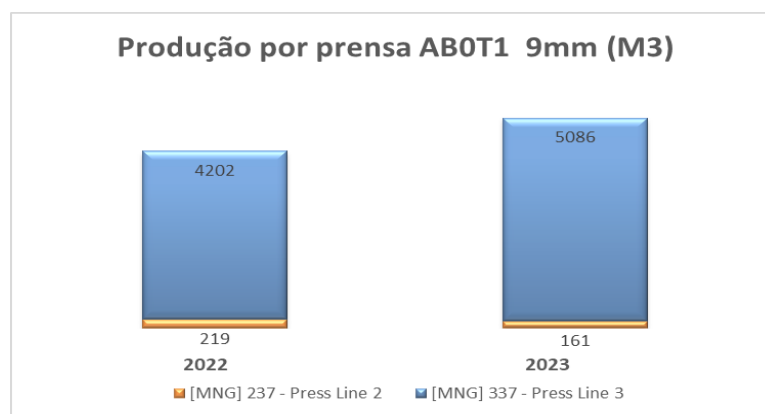


Gráfico 5-Produção por prensa AB0T1 9mm

Destes 161m³ produzidos na Prensa 2, 73,5m³ foram desclassificados e enviados para segunda qualidade por resistência interna fora de especificação. A resistência interna do ensaio laboratorial foi de 0,52N/mm² e a especificação deste produto é de 0,65N/mm².

Esta desclassificação deu origem a 31% de segunda qualidade (Gráfico 6), o que representou uma perda de 11025.00€.

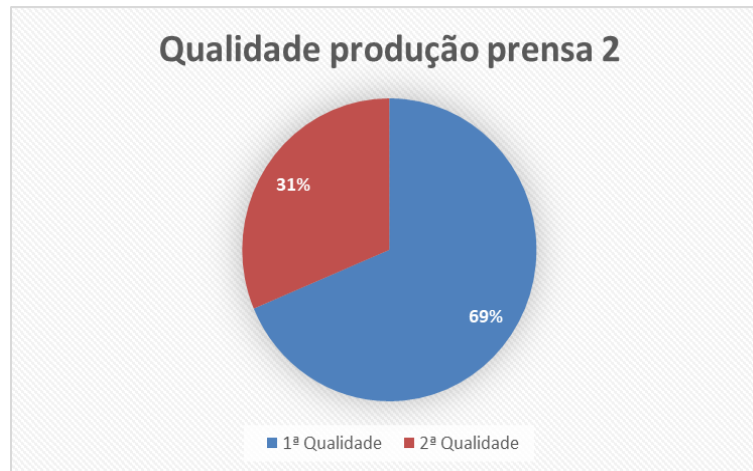


Gráfico 6-Qualidade produção prensa 2

De modo a colmatar esta não qualidade e aumentar a versatilidade da Prensa 2 em espessuras finas foi realizada uma análise de causa raiz (*Root Cause Analysis - RCA*), em modelo de *A3 Report* que agrupa um conjunto de métodos e técnicas *Lean Management*.

De seguida esta fase passou por eleger um líder da análise da causa raiz, responsável por a gestão da equipa e por realizar o relatório *A3*, para desta forma apresentar o progresso ao *Plant Manager* em reuniões quinzenais.

5.2.1.1 Definição da equipa

A equipa foi formada por o diretor de produção (PFR), engenharia de processo (TMB, APR e LMM) e por o coordenador de produção (PJH) apresentados na tabela 1 (onde os nomes das respetivas pessoas estão em sigla), deste modo, toda a equipa de gestão da produção estava em sintonia com as ações imediatas que foram tomadas e quais seriam os próximos passos para a resolução do problema.

Tabela 1-Definição da equipa

EQUIPA						
Líder RCA:	TMB	Equipa:	APR	LMM	PJH	PFR

5.2.1.2 Ações imediatas

Tabela 2-Ações imediatas

<u>Ações Imediatas</u>
(Ações Imediatas: reparação ou ação que permita o processo produtivo continuar a funcionar até reparação do equipamento finalizar, ex. Bypass , montar compressor movél ou gerador)
Aumento de pressão nos grupos 1 e 2 da prensa
Incremento de FX de resina em 0.2%

As ações indicadas na tabela 2 foram tomadas ainda no decorrer da produção do 9T1 de modo a salvaguardar algum produto.

O aumento de pressão nos grupos 1 e 2 da prensa foi para permitir uma melhor selagem das faces do MDF e melhorar o perfil, o incremento de Fx de resina em 0,2% foi para permitir uma melhor colagem das fibras.

5.2.1.3 Descrição do problema

A descrição do problema iniciou pela análise do *troubleshooting*² (Apêndice A) de IB (Resistência Interna) NOK, análise do sintoma, modo de falha direto, medidas de contenção tidas em conta, quando e quem detetou.

A tabela 3 apresenta uma análise prévia do volume que seria afetado e o impacto em matéria de não qualidade, resistência interna do produto fora do limite especificado.

Tabela 3-Descrição do problema

Sintoma: Qual o Efeito Visível? (Ex. Transportador parou)	Desclassificação de 73,5m3 do produto 9T1 por resistência interna NOK		
Modo de Falha: Avaria Visível? (Ex. Corrente Partida)	Perfil de densidade incorrecto		
Contenção sobre o Modo de Falha : Ações para prevenir a ocorrência de nova avaria até se identificar a causa raiz. (Ex. Trabalhar com lotes de placas mais pequenos com menos peso para não sobrecarregar a corrente)	Medida de contenção de retirada de placa aos 5 min para determinação de densidade, mais controlo em laboratório de densidade em todos os ensaios;		
Quando foi detectado: Dia? Turno? Equipa?	30/01/2023	Tarde	A
Quem detetou? Onde foi detectado o Efeito visível?	Turno A	Laboratório	
Quanto tempo: Hora Início? Hora Fim? Duração?	15:44	23:39	07:54
Quanto: Custo? (€ tempo paragem, produtividade, peças, mão de obra,...)	11 025,00 €		

A descrição do problema passou por uma fase de análise prévia aos equipamentos críticos, incluindo um dos equipamentos críticos que não se encontrava em funcionamento, no caso, o perfilómetro, (modelo “*IMAL DPX-LTE*”). Equipamento este que mede como está

² Troubleshooting é um diagrama que indica os possíveis problemas que um produto, processo ou sistema operacional pode apresentar.

distribuída a densidade das faces e do núcleo sobre a espessura da placa de MDF, e assim desta forma permite atuar sobre um perfil de densidade que esteja fora do especificado.

Tabela 4-Descrição dos equipamentos críticos

Função do equipamento em falha?	Perfilómetro, medir perfis de densidade; OFF desde 10/01/2023		
Recorrência: (Interna ou Externa) Ocorreu anteriormente, o que foi feito? Datas das últimas ocorrências? Existe RCA (nº)?	Sim, foi revista heurística do plano de forma a garantir definição de produtos de arranque após paragens superiores a 24h		
Preventivas: Existe plano preventivo sobre o equipamento/componente em falha? Frequência? Última data Execução?	N	N	N
Corretivas: Corretivas ou Pedidos de serviço por executar? Quais?	N		
Funcionamento Standard: O equipamento estava a trabalhar com e nas condições standard?	N		
Outros (informação relevante): Existe standard de reparação ou execução? Etc...	Produto standard da prensa 3 produzido na prensa 2;		

5.2.2 Fase 2 - Medir

O passo inicial foi perceber a quantidade de material que foi afetada por matéria de não qualidade. Assim verificaram-se os ensaios laboratoriais e encontraram-se os ensaios número 101091 e número 101093 com resultados de resistência interna fora de especificação. O que representou um total de 73,5m³ de segunda qualidade.

Das reanálises feitas à posteriori verificou-se que nenhuma atingiu a resistência interna mínima para este produto. As reanálises são numeradas sequencialmente, iniciando por 66..., para se distinguirem das análises. Na tabela 5 são apresentados os valores obtidos de análises e reanálises da produção.

Tabela 5-Valores laboratoriais

Nominal	0,65	620 - 680	17	45234	
Ensaio	Resist. Tração (N/mm2)	Resist. Tração Repetição	Densidade (Kg/m3)	Inchamento (%)	Teor de humidade(%)
101091	0,49	0,52	688	20,6	3,7
101093	0,58	0,64			
66630	0,56				
66634	0,57		685		
66635			682		
66636	0,61		681		
66637	0,55				
66638	0,63				
66640	0,61				

Para melhor compreensão do problema mediram-se temporalmente os acontecimentos que ocorreram durante a produção, para isso elaboraram-se as tabelas 6 e 7. Estas apresentam todos os acontecimentos de forma sucinta, mas referenciadas quer temporalmente quer por tempo de duração.

Tabela 6-Visualização de ocorrências por tempo de duração

Total	Min	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	
Início:	15:44																						
alerta																							
deslocamento																							
diagnostico																							
reparação																							
teste																							
Fim:	23:39																						
Legenda:																							

Tabela 7-Descrição dos acontecimentos da produção sequencialmente

HORA	Descrever de forma sucinta o Filme dos acontecimentos
15:44	Início de produção
16:02	Retirar placa para Ensaio (101091 NOK)
17:30	Alerta de ensaio fora de especificação (101091)
17:30	Aumento de pressão dos couplings
18:35	Retirar placa para Ensaio (101092 OK)
19:42	Alerta do lab. da repetição de IB fora de especificação (101091)
20:00	Incremento de FX resina em 0.02pp
21:19	Retirar placa para Ensaio (101093 NOK)
23:39	Fim da produção

Apesar de ser uma descrição sucinta dos acontecimentos, esta descrição é uma mais-valia para haver uma perceção dos tempos de reação e quanto o processo de produção está dependente da fiabilidade dos equipamentos.

5.2.3 Fase 3 - Analisar

Após a recolha dos dados, seguiu-se para a realização da terceira fase da metodologia DMAIC. O objetivo desta fase foi utilizar os dados recolhidos na fase anterior para identificar, organizar e validar as potenciais causas raiz. O resultado desta fase foi uma lista de causas que mostraram as potenciais causas raiz dos defeitos ocorridos no processo. A fase de análise

envolveu toda a equipa num trabalho de análise detalhado, aproveitando as pistas dos dados obtidos para estabelecer uma hipótese ou várias. Numa primeira etapa utilizaram-se os dados obtidos para fazer um diagrama de Ishikawa (Figura 32), de modo a serem encontradas as possíveis causas raiz. O diagrama de Ishikawa serviu para descrever as possíveis causas que influenciam o perfil de densidade. Esta ferramenta permitiu agrupar de forma gráfica e sintética os fatores que contribuíram ou afetaram uma determinada situação, isto é, avaliar as potenciais causas que originaram um determinado efeito.

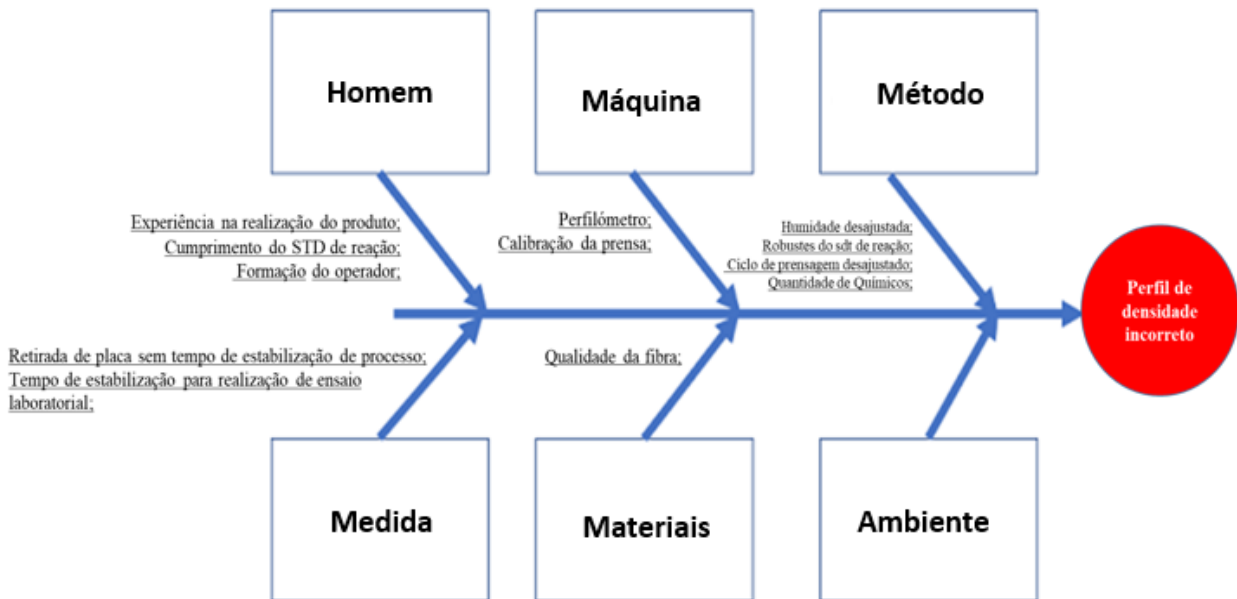


Figura 32-Diagrama de Ishikawa

De seguida todas as possíveis causas raiz foram listadas numa tabela de modo a formar-se um encadeamento de quais as causas que estavam na origem do problema ou se situavam na fase da não deteção, como mostrado na tabela 8.

Tabela 8-6M, origem ou não deteção

6 M O que poderia ter originado o MODO DE FALHA?	MÁQUINAS	MÃO DE OBRA	MATERIAIS	MEDIÇÃO	MÉTODOS	MEIO AMBIENTE	LEGENDA	
	Perfílmetro	Experiência na realização do produto	Qualidade da fibra	Retirada de placa sem tempo de estabilização de processo	Humidade desajustada		Origem:	
	Calibração da prensa	Cumprimento do STD de reação			Robustes do sdt de reação		Não deteção:	
		Formação do operador		Tempo de estabilização para realização de ensaio	Ciclo de prensagem desajustado			
					Químicos			

Todas as possíveis causas para um perfil de densidade incorreto foram verificadas, e excluídas ou retidas, resultando assim a tabela 9. As possíveis causas raiz que foram retidas, foram objeto de análise 5P's.

Tabela 9-Verificação de causas raiz

Potenciais Causas que provocam o MODO DE FALHA - CAUSAS DIRETAS (6M) -		Plano ações de verificação, para reter ou não reter a causa direta identificada.	Resp.	Data Conclusão	Retida ->5PQ / Não Retida
1) Porque ocorreu?	Prensa descalibrada	Verificar se a calibração da prensa foi feita	TMB	10/02	NÃO-RETIDA
	Pouca experiência na realização deste produto	Verificar histórico de realização deste produto nesta prensa	LMM	15/03	RETIDA -> 5PQ
	Cumprimento do STD de reação	Verificar correta reação do operador	TMB	28/02	NÃO-RETIDA
	Operador formado ao STD de reação	Verificar se o operador se encontrada com formação atualizada	TMB	28/02	NÃO-RETIDA
	Fibra com correta densidade para o produto em causa	Verificar densidade da fibra	TMB	28/02	NÃO-RETIDA
	Retirada de placa sem tempo de estabilização de processo	Verificar hora de retirada de placa	TMB	28/02	RETIDA -> 5PQ
	Tempo de estabilização insuficiente para realização do ensaio de laboratório	Verificar se existe STD para condições de temperatura que permitam a estabilização da placa	TMB	15/03	RETIDA -> 5PQ
	Humidade desajustada	Analisar perfis de densidade + fichas técnicas do produto na linha 3	TMB	28/02	RETIDA -> 5PQ
	Standard de perfis de densidade pouco robusto	Testar leitura do STD, por diferentes pessoas (resultados diferentes)	TMB	28/02	RETIDA -> 5PQ
	Ciclo de prensagem desajustado	Verificar ciclo	TMB	28/02	NÃO-RETIDA
	Utilização da correta receita do produto	Verificar receita	TMB	28/02	NÃO-RETIDA

RETIDA-> 5PQ

RETIDA - Para analisar nos 5 porquês ou gerar ação

NÃO-RETIDA

NÃO RETIDA - Confirmada como não sendo causa para o problema e excluir de análise

Na tabela 10 são apresentados todos os modos de falha não retidos, com respetiva justificação porque não foram retidos para análise de 5 porquês pois na produção do caso de estudo não contribuíram para um perfil de densidade incorreto.

Tabela 10-Justificação de modos de falha não retidas

Potenciais Causas que provocam o MODO DE FALHA	Plano ações de verificação, para reter ou não reter a causa direta identificada.	Observação
Prensa descalibrada	Verificar se a calibração da prensa foi feita	Foi cumprido TPM de calibração da prensa na paragem semanal
Cumprimento do STD de reação	Verificar correta reação do operador	Operador reagiu corretamente ao standard existente
Operador formado ao STD de reação	Verificar se o operador se encontrada com formação atualizada	Operador com formação assinada ao standard existente
Fibra com correta densidade para o produto em causa	Verificar densidade da fibra	Fibra com densidade correta para o produto em questão
Ciclo de prensagem desajustado	Verificar ciclo	Ciclo de prensagem cumprido
Utilização da correta receita do produto	Verificar receita	Receita utilizada corresponde à ficha técnica do produto

Foram considerados válidos 5 modos de falha que estão expostos na tabela 11.

Tabela 11-Modos de falha retidos com análise 5 porquês

Potenciais Causas que provocam o MODO DE FALHA - CAUSAS DIRETAS (6M) -	Plano ações de verificação, para reter ou não reter a causa direta identificada.	1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	CAUSA RAIZ	Nº Root Cause Retida
Pouca experiência na realização deste produto	Verificar histórico de realização deste produto nesta prensa	Produto não era fabricado à mais de 3 meses nesta prensa	Heurística de planeamento não prevê rotatividade deste produto para esta prensa				Heurística de planeamento não prevê rotatividade deste produto para esta prensa	1
Retirada de placa sem tempo de estabilização de processo	Verificar hora de retirada de placa	STD de retirada de placa não robusto	Retirada de placa s/garantir tempo de estabilização				STD de retirada de placa não robusto	2
Tempo de estabilização insuficiente para realização do ensaio de laboratório	Verificar se existe STD para condições de temperatura que permitam a estabilização da placa	Não existe STD que defina condições de temperatura para realização de ensaio					Não existe STD que defina condições de temperatura para realização de ensaio	3
Humidade desajustada	Analisar perfis de densidade + fichas técnicas do produto na linha 3	Humidade da ficha técnica da linha 2 não garante bons resultados	7 resultados NOK em 18 produções desde 01/01/2020				Humidade da ficha técnica da linha 2 não garante bons resultados	4
Standard de perfis de densidade pouco robusto	Testar leitura do STD, por diferentes pessoas (resultados diferentes)	Para perfis idênticos reações diferentes, (é difícil escolher a melhor reação)					Para perfis idênticos reações diferentes, (é difícil escolher a melhor reação)	5

Foi de notar que apenas um modo de falha partiu da origem (Célula pintada a cor-de-laranja) e não, da não deteção; a humidade da fibra no colchão, é dos parâmetros de maior relevância para a produção de MDF.

Todas as causas raiz foram numeradas, permitindo, estabelecer um fio condutor para o plano de ações de melhoria da qualidade e flexibilização da Prensa 2 para produção de espessuras finas. A análise das causas raiz é apresentada com mais detalhe nos parágrafos seguintes.

1. Heurística de planeamento não prevê rotatividade deste produto para esta prensa

O mapa de ensaios laboratoriais (Anexo A), foi um mapa retirado do sistema “*Global SAP Production*”, apresenta informação diversa tal como, o número da ordem de produção (OP), data de produção, o número da placa de onde o ensaio foi retirado, as percentagens de químicos utilizadas, resultado de tração do provete, perfil de densidade, humidade da linha de formação, entre outras.

No cabeçalho do mapa de ensaios do anexo A, consta a designação “*Linha 237*”, sendo este o número interno da prensa 2.

A partir da coluna da data de produção pode-se constatar que este produto, antes desta não qualidade (31/01/2023) foi produzido a última vez em 20/10/2022, ou seja, há mais de 3 meses. Como este tipo de indústria é muito dinâmica, com enfoque marcado pela redução de custos de produção, quer ao nível de utilização de químicos, quer ao nível de matéria-prima, a madeira de pinho é cada vez mais escassa e mais cara. O uso de madeira proveniente do eucalipto é cada vez mais uma prática comum.

Sendo a madeira uma matéria-prima natural, o comportamento mecânico da mesma não se mantém constante. Por sua vez faz com que a prensa não mantenha um desempenho constante, o que desta forma nos levou à heurística de planeamento. Dessa forma o operador consegue garantir a manutenção ao seu saber fazer.

2. Standard de retirada de placa não robusto

Tabela 12-Plano de monitorização e medição

ETAPA DO PROCESSO	CARACTERÍSTICAS DE PRODUTO E/OU PROCESSO	ESPECIFICAÇÃO E INSTRUÇÃO DE TRABALHO	MÉTODO/EQUIPAMENTO	FREQUÊNCIA	TAMANHO DA AMOSTRA	REGISTO
Saída da prensa ou saída da pré-calibradora	Resistência Interna (*)	IT CQ 008 Especificação do Produto	Máquina de Ensaios	1º ensaio por cada tipo de produto e espessura no máximo 10 minutos após início da ordem de produção à saída da ferrocontrol 1 ensaio por cada tipo de produto e espessura e restantes garantir 1 ensaio de 8 em 8 horas Produtos B8 e S8: 1 ensaio de IB, Densidade, Perfil de densidade e inchamento por OPP Restantes produtos: 1 ensaio De IB de 4 em 4 horas Realizar ensaio após paragem de produção superior a 30 min.	700 mm a toda a largura da placa	SAP QM Q069
Saída da prensa ou saída da pré-calibradora	Inchamento (*)	IT CQ 010 Especificação do Produto	Banho + Medidor de espessura			SAP QM
Saída da prensa ou saída da pré-calibradora	Teor de Humidade (*)	IT CQ 011 Especificação do Produto	Estufa + Balança			SAP QM
Saída da prensa ou saída da pré-calibradora	Densidade (*)	IT CQ 009 Especificação do Produto	Espessímetro + Balança			SAP QM Q069
Saída da prensa ou saída da pré-calibradora	Perfil de Densidade (*)	IT CQ 002 Especificação do Produto	Máquina de Perfil			SAP QM Q069

A tabela 12 é um excerto do PMM (Plano de Monitorização e Medição) onde foi encontrada uma falha na frequência de retirada de placa para ensaio laboratorial após paragem. Não contemplava o tempo para retirada de placa. Significava que após paragem superior a 30 minutos o operador podia cortar placa para ensaio a qualquer minuto depois do arranque, o que podia originar cortar placa para ensaio com o processo ainda em fase de estabilização e não garantir os parâmetros de produção, humidade da linha de formação, densidade e espessura para o produto.

3. Não existe standard que defina condições de temperatura para a realização do ensaio laboratorial de resistência à tração

Um procedimento comum, quando o ensaio de resistência interna não atingia os valores mínimos pretendidos, consistia em fazer-se a repetição do ensaio laboratorial. A repetição do ensaio laboratorial provinha de provetes cortados exatamente da mesma placa do ensaio. De alguma maneira a repetição do ensaio conseguia obter melhores valores do que o ensaio

anterior. Analisando o processo de retirada de placa para ensaio laboratorial, a placa para o ensaio laboratorial era retirada e seguia logo para laboratório. Dependendo da disponibilidade do operador de laboratório, este realizava logo esse ensaio ou não. Este procedimento fazia com que o ensaio fosse realizado com temperatura mais elevada ou mais baixa e dessa forma influencia a resistência interna do MDF, quanto mais alta é a temperatura, mais fracas são as ligações internas e quanto mais baixa é a temperatura mais alta é a sua resistência interna.

O facto de realizar o ensaio com temperatura mais elevada também significa que a reação dos químicos (principalmente resina) ainda não foi completada pois o tempo de estabilização não foi cumprido.

4. Humidade da ficha técnica da linha 2 não garante bons resultados

O principal indicador que a humidade da ficha técnica não se encontrava ajustada, foi a análise do perfil de densidades. Na figura 33 está representado o perfil de densidades do ensaio laboratorial deste produto, obtido na máquina de ensaios (*IMAL DPX300-LTE*). O eixo das abcissas representa a espessura do provete laboratorial em milímetros, e no eixo das ordenadas está representada a densidade do mesmo. Com esta análise pode-se observar que era um perfil com tendência para ceder na interface das faces para o núcleo, estas zonas estão delimitadas com uma circunferência cor-de-laranja, onde a densidade chega a ser inferior a 600kg/m^3 .

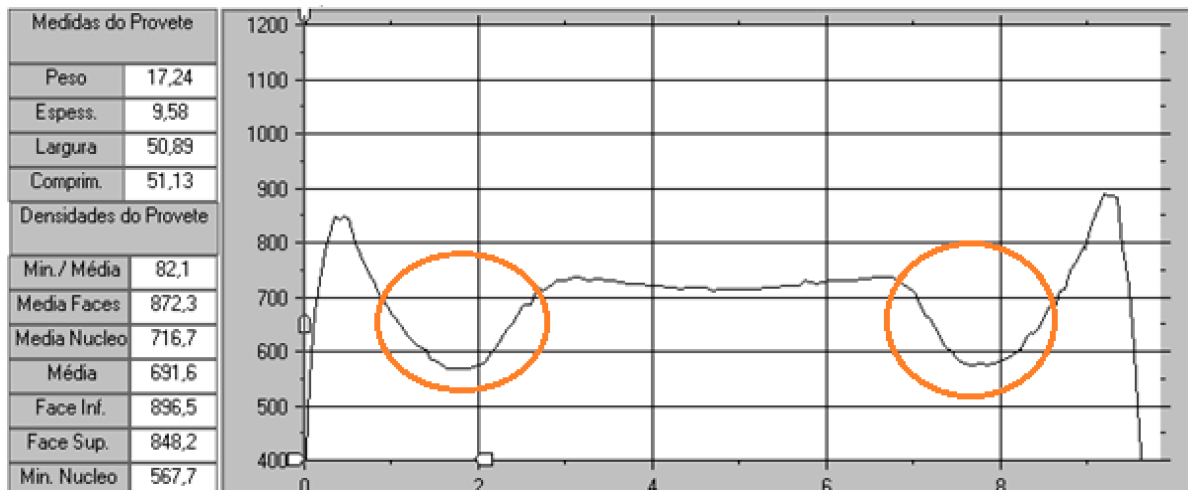


Figura 33-Perfil de densidade 9T1

Este tipo de perfil de densidade é indicativo de baixa humidade da linha de formação, (7,3% de humidade, medido neste ensaio laboratorial) por não promover a transferência de calor para o núcleo da placa, o que origina falta de material nos pontos assinalados, pois a temperatura não foi a suficiente para efetuar a cura adequada e integral da resina.

De seguida analisou-se o teor de humidade de fabrico do produto na linha de formação. Desde 01/01/2020 até 31/7/2023 o produto era fabricado com humidades da linha de formação

em torno dos 7,5%. Com o Anexo A, pode-se comparar a resistência à tração com os valores de humidade da linha de formação (coluna HFL) e foi visto que tendencialmente a resistência à tração aumenta consoante a humidade aumenta, como mostrado no gráfico 7. Ainda que a série de dados estudada seja pouco demonstrativa dessa tendência, verificou-se um ligeiro aumento.

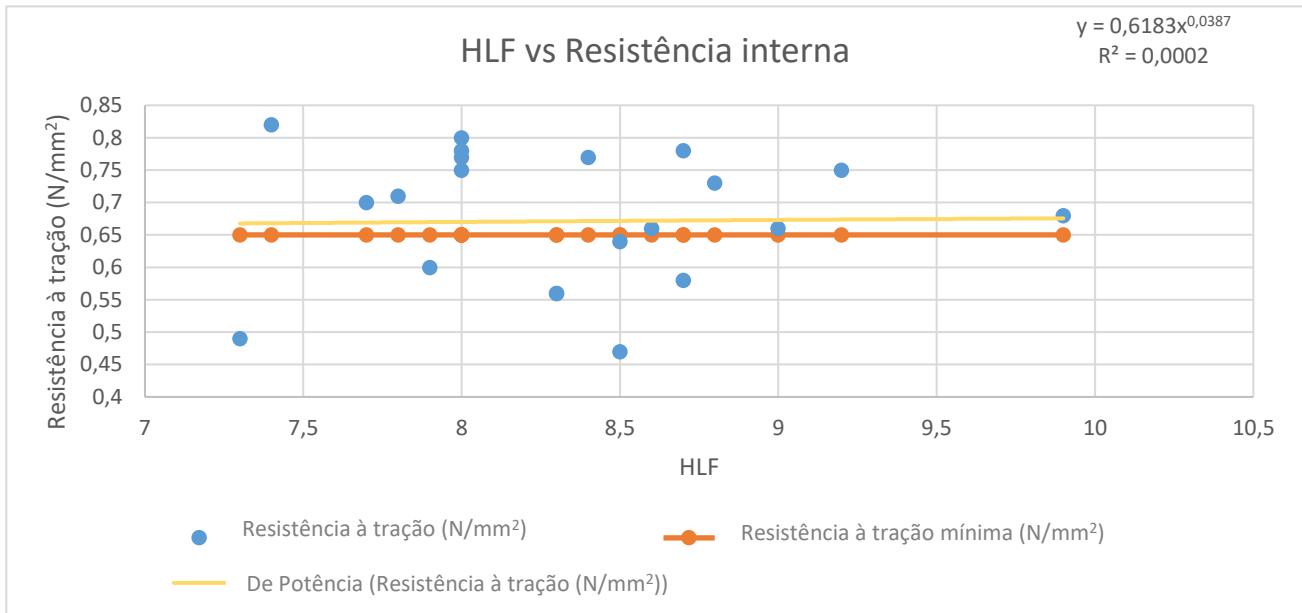


Gráfico 7-Tendência da resistência interna vs HLF

Como a Prensa 3 fabrica este produto, foi analisada com que humidade da linha de formação era feito, e sobressaiu que este produto era feito com 9% de humidade da linha de formação o que nunca levava a ter um perfil de densidade com tendência para abrir.

5. Dificuldade de seleção dos parâmetros de reação pelos operadores de Prensa

Esta causa raiz foi analisada falando com os operadores de prensa de diferentes turnos, confrontando-os com o standard e questionando-os qual seria a reação imediata que eles teriam para este tipo de não conformidade (resistência à tração fora de especificação). Foi notório que os operadores de prensa apresentaram respostas muito diversificadas.

5.2.4 Fase 4 - Implementar

Cada causa raiz teve uma ação distinta e foram distinguidas consoante o tipo de ação elaborando-se assim a tabela 13, se AP – ação preventiva, AC – ação corretiva e STD – standardizar.

Tabela 13-Plano de ações

PLANO DE AÇÕES						
Nº	Causa Raiz	Nº Causa Raiz	Plano ações	Tipo	Resp.	Data Conclusão
1	Heurística de planeamento não prevê rotatividade deste produto para esta prensa	1	Definir plano de produção que garanta a manutenção da competência para realização do produto	AP	TMB	12/06/2023
2	STD de retirada de placa não robusto	2	Alterar STD para retirada de placa após período de paragem	STD	APR	12/06/2023
3	Não existe STD que defina condições de temperatura para realização de ensaio	3	Definir STD com condições temperatura para realização de ensaio laboratorial	STD	PFR	12/05/2023
4	Humidade da ficha técnica da linha 2 não garante bons resultados	4	Criar protocolo com ajuste de set point da humidade na ficha técnica deste produto para esta prensa	AC	TMB	12/07/2023
5	Para perfis idênticos reações diferentes, (é difícil escolher a melhor reação)	5	Ajustar STD de análise de deteção de perfil densidade	STD	LMM	12/07/2023

Tipo: AC - ações corretivas - Ação que irá corrigir uma anomalia AP - ações preventivas - Ação para prevenir reocorrência STD - Standardização (metodo de execução) - Ação de standardização e definição de método

Todas as ações foram realizadas dentro do prazo estipulado com exceção do ajuste do setpoint da humidade da linha de formação, pois como é um parâmetro que necessita de ser aprovado pelo corporativo, demorou mais tempo a sua implementação.

Na tabela 14 está apresentado o cronograma de implementação do plano de ações.

Tabela 14-Cronograma do plano de ações

Cronograma da realização do plano de ações (Semanal)																																			
	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40		
Definição heurística de rotação de produto de 3 em 3 meses																																			
Alteração do standard de retirada de placa																																			
Elaboração do sistema de estabilização de temperatura																																			
Alteração do setpoint de humidade relativa da linha de formação																																			
A alteração do standard de análise de deteção de perfil de densidade NOK																																			

Para a ação de definição de condições de temperatura para a realização do ensaio laboratorial foi necessário projetar o sistema e implementá-lo com a respetiva utilização dos 5S's. Nos parágrafos seguintes é demonstrado às várias fases de implementação:

- Foi projetado o sistema de estabilização de temperatura da placa de ensaio laboratorial (Figura 34);

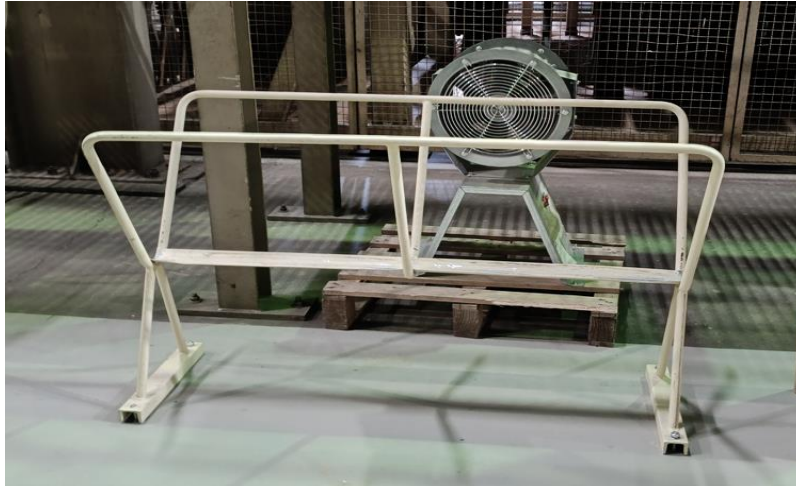


Figura 34-Estrutura de estabilização de temperatura

- Foi definido o local onde a estabilização será feita e foi pintada a zona onde a estrutura foi colocada (Figura 35);



Figura 35-Marcação da área para a operação de estabilização

- Todos os operadores de exterior da Prensa 2 foram formados ao standard (Apêndice D);

- Foi elaborado e colocado no local definido para a estabilização de temperatura o respetivo alerta de posto para a sua correta utilização.



Figura 36-Alerta de posto

5.2.5 Fase 5 - Controlar

Nesta fase foi de salientar a formação dada aos operadores de prensa para que todos realizassem o seu trabalho da mesma maneira e não existissem desvios de operação.

1-Definição de plano de produção que garanta a manutenção da competência para realização do produto;

Foi definida heurística de rotação de produto de 3 em 3 meses.

2-Alteração de standard de remoção de placa após paragem;

A alteração do standard está indicada no Apêndice C.

3-Definição do standard de condições de temperatura para realização de ensaio laboratorial;

Foi criada uma medida de contenção apresentada no Apêndice D e foi projetado o sistema de estabilização de temperatura da placa de ensaio laboratorial (Figura 37).

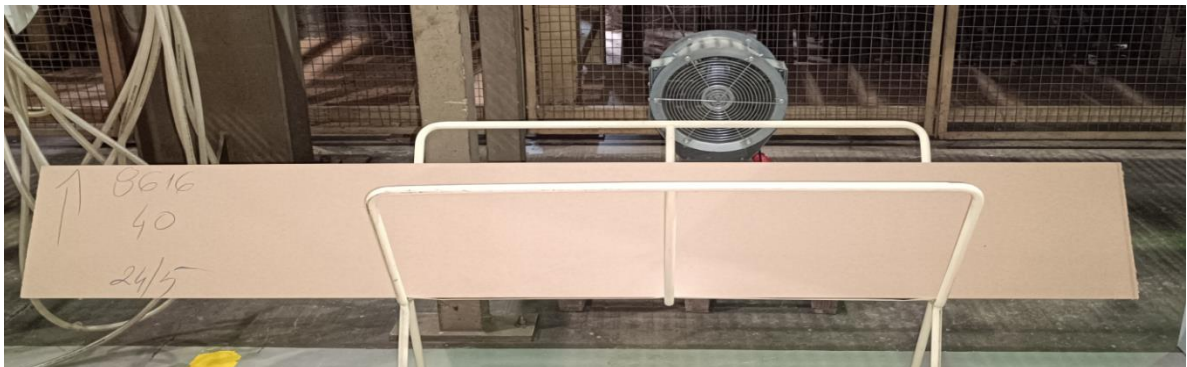


Figura 37-Sistema de estabilização de temperatura

4-Criar protocolo de ajuste de setpoint da humidade da linha de formação para este produto para esta prensa.

Foi pedido um ensaio (Protocolo) para teste do novo setpoint de humidade relativa da linha de formação.

5-Ajustar standard de reação a perfil de densidade fora de especificação;

A alteração do standard está indicada no Apêndice E.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A Metodologia *Lean* constitui-se como uma filosofia de liderança e de gestão auto evolutiva, que continuamente se melhora, através da liderança, formação, motivação e trabalho em equipa, numa perspetiva de resolução de problemas com criação de valor, mas também pela implementação e melhoria contínua de sistemas, métodos e práticas de trabalho. Esta filosofia surge como um modelo de gestão, cujo objetivo principal se traduz no desenvolvimento dos processos e sistemas, mas também na constante formação e acompanhamento das pessoas, tendo em vista a redução ou eliminação do desperdício em toda a organização e a criação de valor para todas as partes interessadas.

A aplicação do *A3 Report*, usando como principal suporte a metodologia *Lean* e os seus métodos, comprovou a sua efetividade nas melhorias do processo, de uma forma estruturada, transformou processos não standardizados em processos eficientes e comuns a toda a estrutura operativa. Realçou-se o baixo custo na melhoria dos resultados, melhoria da qualidade e flexibilidade produtiva que se conseguiu obter.

Sendo que os objetivos iniciais consistiam numa análise e identificação dos problemas de qualidade existentes na produção do produto 9T1, na Prensa 2, pode-se assim afirmar que o caso de estudo foi bem-sucedido, dado que foi possível não só identificar problemas no processo, como também realizar algumas propostas de melhoria relevantes para a empresa.

A correta definição do modo de falha do caso de estudo, foi imprescindível para o sucesso do mesmo, permitindo identificar a baixa humidade da linha de formação do produto 9T1, tendo em conta os requisitos críticos de qualidade impostos pelos clientes. De extrema importância nesta primeira fase do DMAIC foi a elaboração da correta descrição do problema, onde foram referidas e detalhadas as variáveis do mesmo, e no qual foram definidos os objetivos e as metas a atingir.

Na fase de medição do problema, durante a recolha de dados, foi notória a complexidade do processo de troca de informação entre o departamento de qualidade e o departamento de produção, pois resultados que deveriam ser “instantâneos”, não estão disponíveis para consulta em tempo útil por falta de recursos humanos.

Após a medição da não conformidade, analisou-se toda a informação recolhida, identificando-se todas as causas raiz. De modo analítico segregaram-se as principais causas raiz que mais influenciavam a baixa resistência interna. De seguida recorreu-se a uma das ferramentas da Qualidade, o Diagrama de Ishikawa, para descrever as possíveis causas que

influenciavam esta não conformidade de produção. Depois de ter sido feita uma análise de 5P's aos modos de falha diretos, foi traçado um plano de ações para todas as causas raiz daí extraídas.

Para a resolução das causas raiz detetadas, estabeleceu-se um conjunto de potenciais soluções a serem implementadas, sendo da responsabilidade da administração a sua aprovação. Estabeleceu-se que a medida mais relevante para a resolução de vários problemas seria a standardização de processos.

Foi proposta a heurística de rotatividade de produto de 3 em 3 meses, a fim de diminuir as não conformidades de qualidade, visando a manutenção do saber fazer operacional e consequentemente aumentar a produtividade.

Relativamente ao controlo do aumento da humidade da linha de formação, não foi realizado o protocolo para teste da humidade da linha de formação a 8,5%, mas esta alteração foi efetuada na ficha técnica do produto como pode ser consultado no (Anexo B). Dessa forma, neste ponto não se conseguiu apresentar resultados concretos e finais devido principalmente à recessão económica que o setor atravessa.

Os objetivos propostos inicialmente para este caso de estudo foram cumpridos, com a resolução e ajuste dos processos foram conseguidos benefícios no indicador da qualidade (Gráfico 8), da produção, aumento da versatilidade na gama de espessuras produzidas por esta prensa e ainda se conseguiu motivar os colaboradores na vertente da manutenção do seu saber fazer, desafiando-os a desafiarem-se.

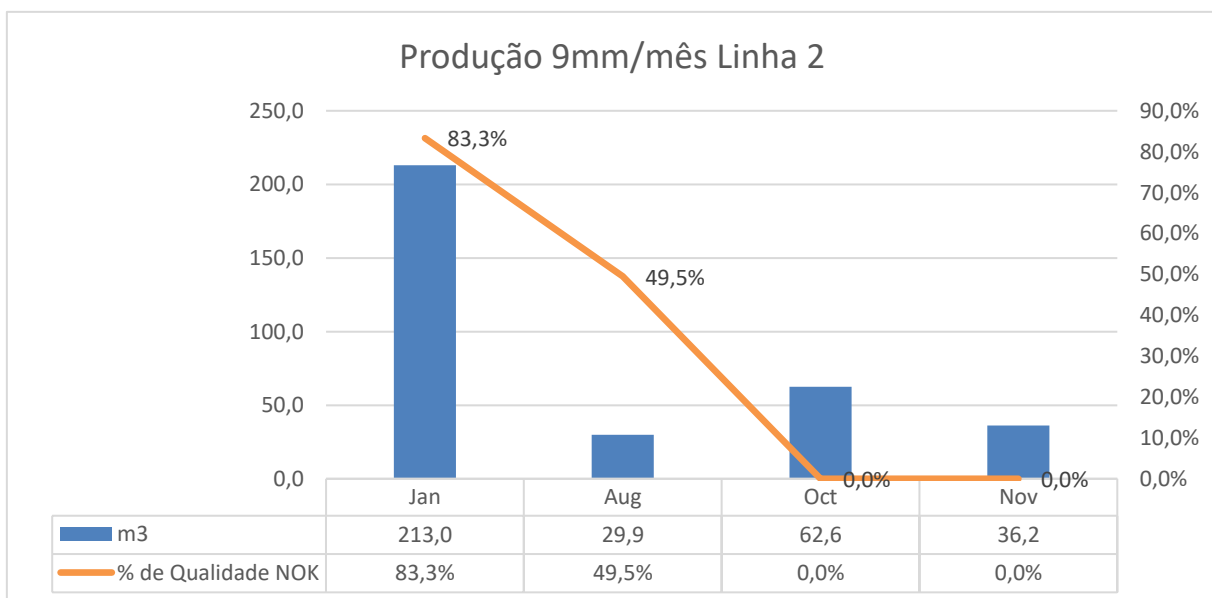


Gráfico 8-Produção de espessura 9mm/mês VS percentagem de não qualidade

7. CONCLUSÃO

Embora sejam claros os benefícios da implementação da metodologia *Lean* na organização, esta requer pessoal treinado para saber a aplicabilidade e utilizar as ferramentas adequadas na procura da resolução de problemas. A metodologia *Lean* também prevê na sua aplicação o desenvolvimento e implementação de planos de ação para a resolução dos problemas organizacionais.

Estes métodos já deram prova da sua eficácia ao longo das décadas, desde a reconstrução do Japão até à atualidade. Quando aplicados corretamente e de mente aberta são um instrumento poderoso na eliminação do desperdício e das disfunções das operações em qualquer setor de atividade.

7.1 Conclusão do Caso de Estudo

A revisão de literatura permitiu estabelecer o roteiro de implementação detalhado que fornece uma teoria unificada para a implementação do *Lean*. Assim, a estrutura de implementação proposta reduz a duração da implementação e reduz a divergência do sistema de produção. Como resultado propõe-se que o sistema *Lean Manufacturing* possa ser sustentado em ambiente empresarial competitivo. Assim como descrito anteriormente é de extrema importância conhecer os pilares basilares da filosofia *Lean* permitindo desta forma uma implementação mais assertiva, desde o topo da hierarquia até ao chão de fábrica.

A experiência adquirida ao longo do desenvolvimento do caso de estudo provou a importância de uma comunicação efetiva e constante entre os colaboradores de chão de fábrica e a gestão da empresa. A comunicação entre os membros da empresa deve começar com o diretor e os coordenadores das operações, de forma, a que todos, dentro do mesmo departamento e fora dele, consigam entender que tal comunicação é fundamental para o sucesso coletivo. Deve ser também demonstrado desta forma o interesse em todas as posições hierárquicas, em perceber quais são os problemas que cada um enfrenta de forma a se poder trabalhar na resolução dos mesmos em equipa.

Neste contexto, torna-se fulcral saber envolver as pessoas de chão de fábrica e capitalizar a sua experiência. São os colaboradores que, enfrentando os reais problemas de natureza operacional, estão em condições privilegiadas para poderem sugerir, enquadrar e apresentar soluções relevantes para o desenvolvimento do processo produtivo.

A gestão *Lean* não pode ser considerada uma atividade, mas sim uma metodologia, uma filosofia e uma forma de estar que se manifesta no local de trabalho e na vida privada.

7.2 Perspetivas Sobre Trabalhos de Melhorias Futuras

A Sonae Arauco Mangualde dispõe de uma forte cultura na aplicação da metodologia *Lean*, mas sendo a melhoria contínua um processo interminável, apresentam-se algumas sugestões de trabalhos futuros que possam complementar os ganhos conseguidos pelo presente caso de estudo:

- Eliminação de registos no formato papel, com a introdução de mais checkpoint's (Postos de Controlo de Qualidade) digitais nas células de controlo, assim eliminando-se a desarrumação das salas de controlo, reduzindo-se as deslocações, e facilitando a leitura e o acesso aos dados.
- Alargar as práticas 5S a todos os departamentos, incluindo as oficinas elétrica e mecânica, a todos os colaboradores eliminando desperdícios e procurando a melhoria contínua em toda a estrutura organizacional.
- A introdução de um sistema de visão artificial nas linhas de acabamento para deteção de erros dimensionais.
- Melhoria das infraestruturas dos sistemas de recuperação de fibra e de trimming (rejeição das serras), pois dessa forma permite baixar o custo do metro cubico de MDF, conseguindo assim aumentar a sua competitividade industrial.
- Partilhar informação sobre as adversidades/problemas de qualidade que as várias unidades fabris do grupo atravessam através da criação de plataformas digitais, para que desta forma se possa consultar qual foi o problema e a sua respetiva análise de causa raiz.

REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

- Abu Bakar, N., Rosbi, S., Abu Bakar, A., che arshad, N., Abd Aziz, N., & Kiyotaka, U. (2019). Framework of 5S Quality Management for University Ecosystem to Achieve Green Campus. *International Journal of Scientific Research and Management*, 7. <https://doi.org/10.18535/ijstrm/v7i12.em01>
- Antosz, K., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Waszkowski, R., & Machado, J. (2022). Application of Lean Six Sigma for sustainable maintenance: Case study. *IFAC-PapersOnLine*, 55(19), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.204>
- Arauco, S. (2023, maio 24). *Quem Somos*. Sonae Arauco. <https://www.sonaearauco.com/pt/empresa/quem-somos/>
- Baskent Aydemir, E., & Ozkul, M. H. (2020). Investigation of effect of bitumen chemical composition, elastomeric polymer and paraffin wax additives on the properties of bitumen by using response surface method. *Construction and Building Materials*, 234, 117414. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117414>
- Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S., & Murugaiah, U. (2015). The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 419–435. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0062>
- Bobis, O., Moise, A. R., Ballesteros, I., Reyes, E. S., Durán, S. S., Sánchez-Sánchez, J., Cruz-Quintana, S., Giampieri, F., Battino, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2020). Eucalyptus honey: Quality parameters, chemical composition and health-promoting properties. *Food Chemistry*, 325, 126870. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126870>
- Cademartori, P. H. G. de, Schreiner, W. H., & Magalhães, W. L. E. (2018). Facile one-step fabrication of highly hydrophobic medium density fiberboard (MDF) surfaces via spray coating. *Progress in Organic Coatings*, 125, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.08.032>
- Cagdas, I. U., & Saeedi, S. (2022). Structural behavior of MDF beams reinforced by unidirectional glass fiber reinforced thermoset polyurethane outer layers. *Composite Structures*, 295, 115848. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115848>
- Carvalho, R., Lobo, M., Oliveira, M., Oliveira, A. R., Lopes, F., Souza, J., Ramalho, A., Viana, J., Alonso, V., Caballero, I., Santos, J. V., & Freitas, A. (2021). Analysis of root causes of problems affecting the quality of hospital administrative data: A systematic review and Ishikawa diagram. *International Journal of Medical Informatics*, 156, 104584. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104584>
- Chen, J. C., Li, Y., & Shady, B. D. (2010a). From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: An industrial case study. *International Journal of Production Research*, 48(4), 1069–1086. <https://doi.org/10.1080/00207540802484911>
- Chen, J. C., Li, Y., & Shady, B. D. (2010b). From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: An industrial case study. *International Journal of Production Research*, 48(4), 1069–1086. <https://doi.org/10.1080/00207540802484911>
- Coelho, C. L., Carvalho, L. M. H., Martins, J. M., Costa, C. A. V., Masson, D., & Méausoone, P.-J. (2008). Method for evaluating the influence of wood machining conditions on the objective characterization and subjective perception of a finished surface. *Wood Science and Technology*, 42(3), 181–195. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0166-1>
- Cunha, A. M. P. da. (2017). *Implementação da metodologia Lean numa empresa do setor cerâmico* [masterThesis]. <https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/4479?locale=en>
- Elafri, N., Tappert, J., Rose, B., & Yassine, M. (2022a). Lean 4.0: Synergies between Lean Management tools and Industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 2060–2066. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.011>

- Elafri, N., Tappert, J., Rose, B., & Yassine, M. (2022b). Lean 4.0: Synergies between Lean Management tools and Industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 2060–2066. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.011>
- Farajollah Pour, M., Hatefnia, H., Dorieh, A., Valizadeh Kiamahalleh, M., & Mohammadnia Afrouzi, Y. (2022). Research on Medium density fiberboard (MDF) behavior against screw axial withdrawal: Impact of density and operational variables. *Structures*, 39, 194–206. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.03.025>
- Ferreira, C., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Lopes, M. P., Pereira, T., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2019a). iLeanDMAIC – A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*, 41, 1095–1102. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.038>
- Ferreira, C., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Lopes, M. P., Pereira, T., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2019b). iLeanDMAIC – A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*, 41, 1095–1102. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.038>
- Filho, O. S. S., & Calado, R. (2013). Learning Supply Chain Management by PBL with A3 Report Support. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(24), 471–477. <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00115>
- Furtado, A. (2015). *Implementação da filosofia pull na produção na empresa Schnellecke* [masterThesis, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa]. <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/5540>
- Ghatorha, K. S., Sharma, R., & Singh, G. (2020). Application of root cause analysis to increase material removal rate for productivity improvement: A case study of the press manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1780–1783. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.374>
- Grigsby, W. J., Thumm, A., Carpenter, J. E. P., & Hati, N. (2014). Investigating the extent of urea formaldehyde resin cure in medium density fibreboard: Characterisation of extractable resin components. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 50, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.12.020>
- Halvarsson, S., Edlund, H., & Norgren, M. (2008). Properties of medium-density fibreboard (MDF) based on wheat straw and melamine modified urea formaldehyde (UMF) resin. *Industrial Crops and Products*, 28(1), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.005>
- Henke, M., Lis, B., & Krystofiak, T. (2022). Evaluation of Surface Roughness Parameters of HDF for Finishing under Industrial Conditions. *Materials*, 15(18), 6359. <https://doi.org/10.3390/ma15186359>
- Hiziroglu, S., Jarusombuti, S., & Fueangvivat, V. (2004). Surface characteristics of wood composites manufactured in Thailand. *Building and Environment*, 39(11), 1359–1364. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.004>
- Ito, A., Hagström, M., Bokrantz, J., Skoogh, A., Nawcki, M., Gandhi, K., Bergsjö, D., & Barring, M. (2022). Improved root cause analysis supporting resilient production systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 468–478. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.015>
- Jazayeri, R., Najafi, S. K., & Younesi, H. (2023). Modified graphene as potential additive for urea formaldehyde (UF) resin in medium density fiberboard (MDF) manufacturing. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 126, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2023.103448>
- Jerez, M., Selga, A., Sineiro, J., Torres, J. L., & Núñez, M. J. (2007). A comparison between bark extracts from *Pinus pinaster* and *Pinus radiata*: Antioxidant activity and procyanidin composition. *Food Chemistry*, 100(2), 439–444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.064>

- Kamperidou, V., Aidinidis, E., & Barboutis, I. (2020). Impact of Structural Defects on the Surface Quality of Hardwood Species Sliced Veneers. *Applied Sciences*, 10(18), 6265. <https://doi.org/10.3390/app10186265>
- Klein, L. L., Tonetto, M. S., Avila, L. V., & Moreira, R. (2021). Management of lean waste in a public higher education institution. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125386>
- Li, W., Van den Bulcke, J., De Windt, I., Defoirdt, N., Dhaene, J., Dierick, M., Sol, H., & Van Acker, J. (2016). Relating MOE decrease and mass loss due to fungal decay in plywood and MDF using resonalyser and X-ray CT scanning. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 110, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.03.012>
- Liker, J. K. (2003). *The Toyota Way: 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. McGraw Hill Professional.
- Liker, J. K. (2021). *O modelo Toyota: 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo*. Bookman Editora.
- Liu, Z. (2012). Common Problems and Countermeasures in Work Safety Standardization Process in Beijing. *Procedia Engineering*, 43, 578–581. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.102>
- Lv, Y., Liu, Y., & Jing, W. (2022). Continuous Flat Pressing of MDF Quality Control Model Framework and Collaborative Programming Approach Based on Wood Fiber Hot Pressing Mechanism. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.851219>
- Magalhães, R., Nogueira, B., Costa, S., Paiva, N., Ferra, J. M., Magalhães, F. D., Martins, J., & Carvalho, L. H. (2020). Effect of Panel Moisture Content on Internal Bond Strength and Thickness Swelling of Medium Density Fiberboard. *Polymers*, 13(1), 114. <https://doi.org/10.3390/polym13010114>
- Marini, L. J., Cavalheiro, R. S., De Araujo, V. A., Cortez-Barbosa, J., de Campos, C. I., Molina, J. C., Silva, D. A. L., Lahr, F. A. R., & Christoforo, A. L. (2022). Estimation of mechanical properties in Eucalyptus woods towards physical and anatomical parameters. *Construction and Building Materials*, 352, 128824. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128824>
- Medium density fibreboard – European Panel Federation*. (2023, maio 24). <https://europanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/medium-density-fibreboard/>
- Medium density fibreboard—European Panel Federation*. (2018, agosto 8). <https://europanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/medium-density-fibreboard/>
- Mourato, J. F. S. de A. (2019). *Aplicação da Filosofia Lean no Serviço de Manutenção de uma Empresa de Transportes Públicos* [masterThesis]. <https://run.unl.pt/handle/10362/76568>
- Murugaiah, U., Jebaraj Benjamin, S., Srikamaladevi Marathamuthu, M., & Muthaiyah, S. (2010). Scrap loss reduction using the 5-whys analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(5), 527–540. <https://doi.org/10.1108/02656711011043517>
- Nedeliaková, E., Štefancová, V., & Kudláč, Š. (2017). Six Sigma and Dynamic Models Application as an Important Quality Management Tool in Railway Companies. *Procedia Engineering*, 187, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.371>
- Nemli, G., & Aydın, A. (2007). Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from the needle litter of Pinus pinaster Ait. *Industrial Crops and Products*, 26(3), 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.016>

- Niñerola, A., Sánchez-Rebull, M.-V., & Hernández-Lara, A.-B. (2020). Quality improvement in healthcare: Six Sigma systematic review. *Health Policy*, 124(4), 438–445. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2020.01.002>
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through «Lean Tools»: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>
- Ozdemir, T., Hiziroglu, S., & Malkocoglu, A. (2009). Influence of relative humidity on surface quality and adhesion strength of coated medium density fiberboard (MDF) panels. *Materials & Design*, 30(7), 2543–2546. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.09.036>
- Planta lenhosa. (2020). Em *Wikipédia, a enciclopédia livre*. https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Planta_lenhosa&oldid=59215812
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Procedia Economics and Finance*, 7, 174–180. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(13\)00232-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(13)00232-3)
- SA Brochure 2022 PT.pdf*. (sem data).
- Saad, D. A., Masoud, M., & Osman, H. (2021). Multi-objective optimization of lean-based repetitive scheduling using batch and pull production. *Automation in Construction*, 127, 103696. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103696>
- Sahoo, S., & Yadav, S. (2020). Influences of TPM and TQM Practices on Performance of Engineering Product and Component Manufacturers. *Procedia Manufacturing*, 43, 728–735. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.111>
- Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. *Procedia Engineering*, 51, 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.084>
- Smalley, A. (2004). *Creating Level Pull: A Lean Production-system Improvement Guide for Production-control, Operations, and Engineering Professionals*. Lean Enterprise Institute.
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Kumar, R. M. S. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Toki, G. F. I., Ahmed, T., Hossain, M. E., Alave, R. K. K., Faruk, Md. O., Mia, R., & Islam, S. R. (2023). Single Minute Exchange Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 12, 100592. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100592>
- Uslu Divanoğlu, S., & Taş, Ü. (2022). Application of 8D methodology: An approach to reduce failures in automotive industry. *Engineering Failure Analysis*, 134, 106019. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.106019>
- Vasconcelos, D. C., Viana, F. E., & Neto, J. D. P. B. (2019). Lean and green: The contribution of lean production and environmental management to the waste reduction. *Revista de Administração Da UFES*, 12(2), 365–383. <https://doi.org/10.5902/1983465921750>
- Vila, C., Yáñez, R., & Alonso, J. L. (2023). Valorization of Pinus pinaster wood by one-pot treatments in butanol/water biphasic mixtures. *Industrial Crops and Products*, 206, 117581. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117581>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Simon and Schuster. https://books.google.pt/books?id=9NHmNCmDUUoC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Zeng, Q., Lu, Q., Zhou, Y., Chen, N., Rao, J., & Fan, M. (2018). Circular development of recycled natural fibers from medium density fiberboard wastes. *Journal of Cleaner Production*, 202, 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.166>

APÊNDICES

APÊNDICE A

***Troubleshooting* Preenchido**

CHECKLIST IB NOK

Data	30 / 01 / 20 23	Equipa	A
OPP	5800063030	Produto	9T1
Ensaio nº	101091	m3 afetados	73,5

Valor Obtido/Especificação 0,52 0,65 N/mm2

Variável de Processo	AREA	UNIDADE	PARAMETROS	MIN	MAX	ATUAL	IMPACTO PROCESSO	R/V (RETIDO/VERIFICADO)	POSSÍVEIS CAUSAS	SUGESTÕES DE AÇÕES
Temperatura água lavagem	Lavagem	°C		25,0	30,0	11,0	baixa			
Ph água lavagem	Lavagem		4,5	4,0	5,0	6,1	baixa			
Temperatura Tremonha baixa	Desfibrador	°C		85,0	95,0	90,0	Muito Alta		1 - Falta de Vapor	1 - Aumentar o Vapor
Temperatura PA baixa	Desfibrador	°C		165,0	185,0	154,0	Muito Alta		1 - Falta de Vapor 2 - Retirada de gases entupido	1 - Aumentar o Vapor 2 - Parar e desobstruir
Pressão PA	Desfibrador	bar	9,0	7,0	9,9	9,0	Muito Alta		1 - Falta de Vapor 2 - Retirada de gases entupido	1 - Aumentar o Vapor 2 - Parar e desobstruir
Tempo de Retenção PA	Desfibrador	min	3,0	3,0	4,0	3,0	Muito Alta		1 - Falha no controle do tempo de retenção	1 - Corrigir
Pressão Plug	Desfibrador	bar	3,0	4,0	6,0	2,9	Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar no local
Pressão da caixa de discos baixa	Desfibrador	bar		7,5	9,0	8,0	Muito Alta		1 - Falta de Vapor	1 - Aumentar o Vapor
Vapor à caixa de discos	Desfibrador	ton/h		1,0	3,0	5,8	Muito Alta		1 - Falta de Vapor	1 - Aumentar o Vapor
Pressão diferencial	Desfibrador	bar		-1,0	1,0	0,01	baixa			1 - Ajustar setpoint 2 - Ajustar blowvalve 3 - Ajustar abertura de vapor
Energia Especifica (diferença do valor de 24 hs antes)	Desfibrador	kwh/ton				100,0	baixa			1 - Avaliar fibra de acordo com IT PMDF 116
Racio vapor/fibra seca	Desfibrador			0,45	0,65	0,5	Muito Alta		1 - Falta ou excesso de vapor	1 - Aplicar norma de controle racio vapor/fibra seca

	Abertura de Energia (kWh/ton)				
	Fibra tipo 1000 (MWH/ton)	Fibra tipo 1000 (FL)	Fibra tipo 1000 (MR)	Produto Superfina (MR)	Produto Deep Spinning (MR)
Fibra tipo FL	85	0	-5	-15	-25 -35
Fibra tipo MeKure	90	5	0	-10	-20 -30
Produto STD	100	15	10	0	-10 -20
Produto Superfina / MR	110	25	20	10	0 -10
Produto Deep Spinning (novobaco)	120	35	30	20	10 0

CHECKLIST IB NOK

Data	30 / 01 / 20 23
OPP	5800063030
Ensaio nº	101091

Equipa	A
Produto	9T1
m3 afetados	73,5

Valor Obtido/Especificação 0,52 0,65 N/mm2

Variável de Processo	AREA	UNIDADE	PARAMETROS	MIN	MAX	ATUAL	IMPACTO PROCESSO	R/V (RETIDO/VERIFICADO)	POSSÍVEIS CAUSAS	SUGESTÕES DE AÇÕES	
Pressão da bomba de Resina (HI-JET)	Químicos	bar		90,0	110,0	100,0	Muito Alta		1 - Falha no sistema	1 - Corrigir	
Pressão Blow Line	Desfibrador	bar	7,0	5,0	8,0	7,3	Alta			1- Verificar no HI-Jet	
Viscosidade alta	Resinas	cP		acima 250		264,0	Alta		1- Viscosidade resina elevada	1- Aplicar norma de diluição em Resina 3F08	
PH	Resinas			6,0	8,0	6,2	Alta			1- Alertar Responsável de Produção	
Excesso de Ureia	Químicos	Fx (%)	4,4			4,4	Muito Alta		1 - Falha operacional	1 - Corrigir	
Défice de resina	Químicos	Fx (%)	13,0			13,0	Muito Alta		1 - Falha operacional	1 - Corrigir	
Temperatura Colchão	Linha Formação	°C		32,0	45,0	25,0	Muito Alta				
Humidade fibra (LF)	Linha Formação	%	8,0	Hum Parâmetros -0,5	Hum Parâmetros + 1,0	7,3	Muito Alta		1 - Falta ou excesso de energia térmica	1 - Verificar setpoint medidor de humidade secador ajustado a humidade linha formação	
Dosagem Spray sup/inf	Spray	ml/m ²	9//11			9//11	Muito Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar sistema spray e parâmetros introduzidos	
Varição peso	Linha Formação	%		-3,0	3,0	-1,9	Muito Alta		1 - Falha na distribuição de peso	1 - Corrigir distribuição de peso	
Pressão Pré-Prensa	Pré Prensa	bar		165,0	200,0	154,0	Alta		1 - Falha Operacional	1 - Corrigir a pressão	
Ciclo de Prensa	Prensa	Ciclo de prensagem	Se não existe ciclo padrão, anexar o ciclo que serviu de base para a produção					Muito Alta		1 - Se existe ciclo padrão, pode ser por falha operacional	1 - Aplicar ciclo padrão. Se ciclo padrão desajustado corrigir e informar Engenharia de Processo
Fator de Prensa	Prensa	s/mm	9,1			9,1	Muito Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar parametros introduzidos	
Temperatura Prato 1	Prensa	°C	230,0			230,0	Muito Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar parametros introduzidos	

CHECKLIST IB NOK

Data	30 / 01 / 20 23
OPP	5800063030
Ensaio nº	101091

Equipa	A
Produto	9T1
m3 afetados	73,5

Valor Obtido/Especificação

0,52	0,65
------	------

 N/mm2

Variável de Processo	AREA	UNIDADE	PARAMETROS	MIN	MAX	ATUAL	IMPACTO PROCESSO	R/V (RETIDO/VERIFICADO)	POSSÍVEIS CAUSAS	SUGESTÕES DE AÇÕES	
Temperatura Prato 2	Prensa	°C	225,0			225,0	Muito Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar parametros introduzidos	
Temperatura Prato 3	Prensa	°C	220,0			220,0	Muito Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar parametros introduzidos	
Temperatura Prato 4	Prensa	°C	185,0			185,0	Muito Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar parametros introduzidos	
Temperatura Prato 5	Prensa	°C	170,0			170,0	Muito Alta		1 - Falha Operacional	1 - Verificar parametros introduzidos	
Densidade Média	Pós Prensa	kg/m³	670,0	-30	+30	689,0	Muito Alta		1 - Falha na distribuição de peso 2 - Variação espessura	1 - Corrigir distribuição de peso 2 - Corrigir espessura	
Perfil Conforme	Pós Prensa	Conforme	Classificar como OK ou NOK				NOK	Muito Alta		1 - Falha no ciclo padrão	1 - Corrigir perfil de acordo com IT PMDF 113
Densidade Nucleo	Pós Prensa	kg/m3	Requisitos S8 IKEA 620 kg/m3 Restantes comparação com ensaio comparativo OK				605,0	Muito Alta		1 - Falha no ciclo padrão	1 - Corrigir perfil de acordo com IT PMDF 113
Densidade face	Pós Prensa	kg/m3	Requisitos S8 IKEA min 1000 kg/m3 Restantes comparação com ensaio comparativo OK				886,0	Muito Alta		1 - Falha no ciclo padrão	1 - Corrigir perfil de acordo com IT PMDF 113
Densidade da Fibra	Formadora	kg/m³	Comparação com ensaio comparativo OK e qualidade visual placa lixada na lixadeira do lab OK				26,8	Alta		1 - Ajuste de discos	1 - Avaliar fibra de acordo com IT PMDF 116

Identificação do possível modo de falha

Desvio de densidade placa	Desvio qualidade madeira	Desvio ciclo de Prensa	Outras causas
			X

Possíveis Modos de falha (colocar X):

Se colocou outras causas, identificar: Perfil de densidades NOK

CHECKLIST IB NOK

Data	30 / 01 / 20 23
OPP	5800063030
Ensaio nº	101091

Equipa	A
Produto	9T1
m3 afetados	73,5

Valor Obtido/Especificação 0,52 0,65 N/mm2


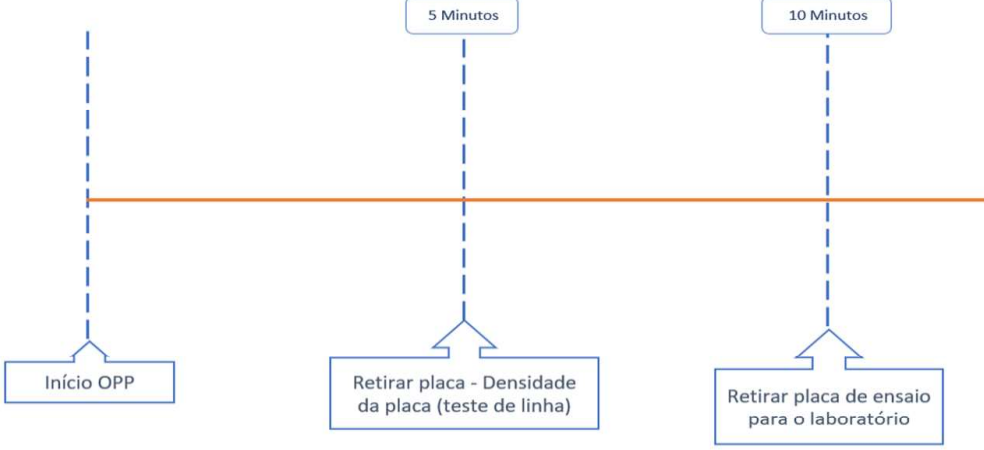

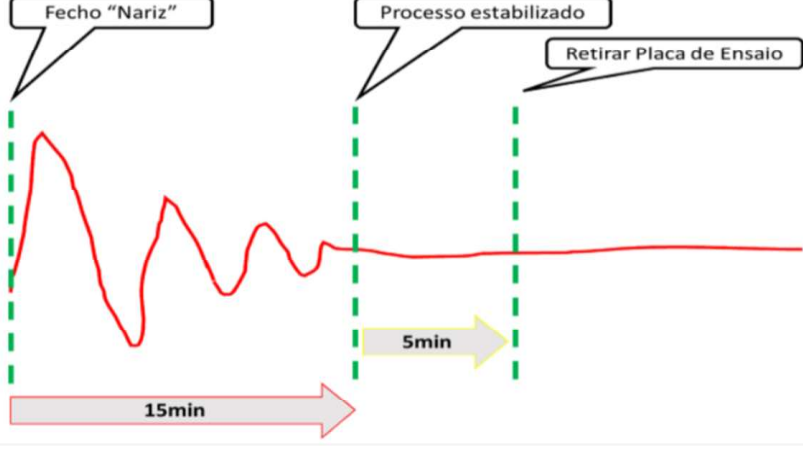







Variável de Processo	AREA	UNIDADE	PARAMETROS	MIN	MAX	ATUAL	IMPACTO PROCESSO	R/V (RETIDO/VERIFICADO)	POSSÍVEIS CAUSAS	SUGESTÕES DE AÇÕES

APÊNDICE B

Template A3 Report Preenchido

APÊNDICE C

Standard de retirada de placa para ensaio LABORATÓRIO ou testemunho

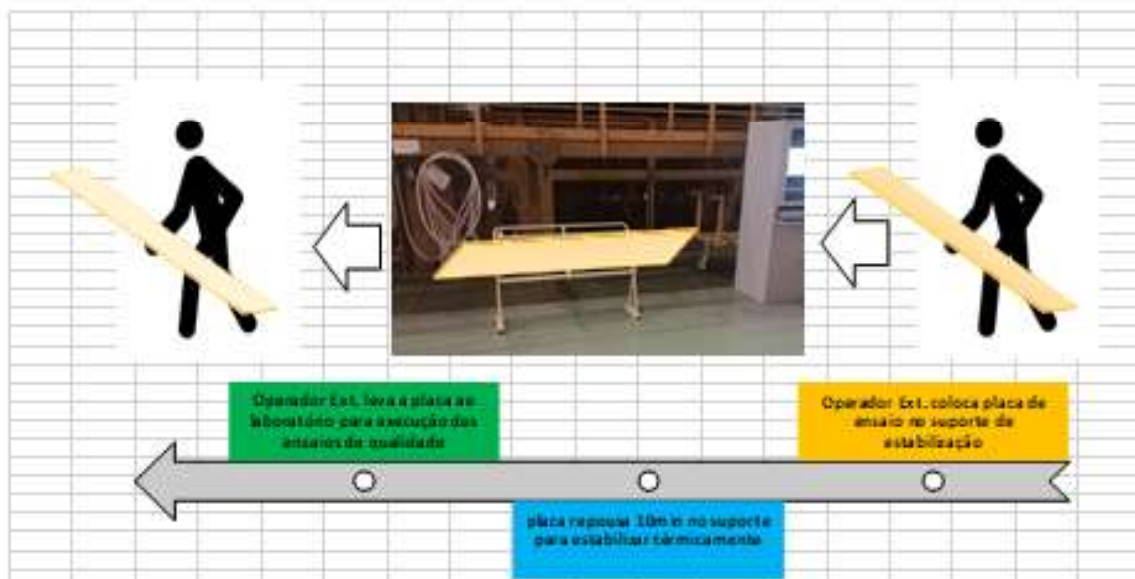
INSTRUÇÃO DE TRABALHO: Retirada de placa para ensaio LAB ou testemunho			
Objectivo:	Garantir a correta regra de retirada de placa de amostra para LAB.	Código do Documento:	IT PMDF 142 R00
Fábrica	SONAE ARAUCO MANGUALDE	HSE aprovado	
Area	LINHA 2 E LINHA 3 - FERRO CONTROL		
Quem isto se aplica? [Executante]	OPERADORES		
Quando é que deve ser utilizado?	Sempre que for necessário retirada de placa para laboratório.	Aprovação da Direção	
Onde isto se aplica?	Todos os produtos	PFR	
Etapa	PONTOS-CHAVE	Descrição	Fotos/Ilustrações
1	<p>STD </p> <p>Sempre que mudamos de produção, 5min após saída da 1ªplaca na ferro control, retirar uma placa para cálculo de densidade(peso+espessura). Passado 5 min após retirada da primeira placa para cálculo de densidade, retirar nova placa para o ensaio do laboratório conforme definido em PMM.</p>		
2	<p>STD </p> <p>Sempre exista uma abertura de "Nariz" e exista necessidade de retirada de placa para o laboratório, a mesma só deve ser retirada após período de estabilização de processo (20 min). <i>Esta regra prevalece sempre em relação ao PMM.</i></p>		
M	<p>Regra de reacção ao Standard</p> <p>Sempre que exista uma mudança de produção de espessura ou produto, ou uma abertura de "nariz" com tempo superior a 30 min deve ser retirada uma placa de amostra para LAB cumprido as regras acima descritas.</p>		
S	<p>Regras Gerais de Segurança</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">        </div> <p style="font-size: small; text-align: center;">Ministério da Saúde e Segurança do Trabalho</p>		
Documentos associados			
Versão	Data	Emitido por	Última modificação
0	06/03/2023	APR	Criação do documento

APÊNDICE D

Medida de Contenção Para Estabilização da Placa Para Ensaio Laboratorial

Medida de Contenção nº			202304_57
Data	26/04/2023	Linha	237
Produto	Todos os produtos	Equipamento	FerroControl
Descrição			


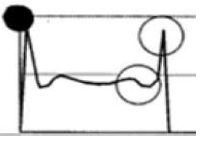
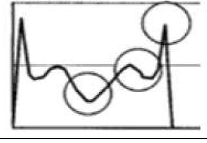
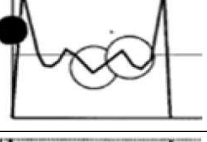


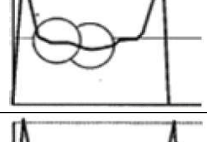

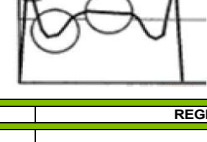
De modo a testar-se o impacto da estabilização térmica nas placas de ensaio para Laboratório, pretende-se colocar em aplicação um suporte para repouso das placas antes de serem entregues ao Lab para teste. Assim, todas as placas deverão repousar durante 10min no suporte criado para o efeito, e só depois deverão ser entregues ao LAB.. Em caso de placas de arranque para ajuste processo, o tempo de residência poderá ser ajustado tendo em conta as necessidades do momento.



Aplicável a IT / Parâmetros / ...		Parâmetros de produção	
Resp.	PFR	Válido até	07/06/2023
Supervisor		Operadores	
A		A	
B		B	
C		C	
D		D	

APÊNDICE E

Standard de Correção do Perfil de Densidade

Onde	Sala de controlo	OPL SABER FAZER E CONTROLAR			Código	IT PMDF 113
Quem	Operador prensa				Data	21/05/2021
Quando	Quando necessário				Edição	R01
Correção do Perfil de Densidade						
Objetivo		Manter dentro de controlo o perfil de densidade da placa de modo a que não haja não conformidades				
#	O QUÊ E COMO	FOTOGRAFIA	PONTOS VERIFICAÇÃO QUALIDADE	PONTOS VERIFICAÇÃO SEGURANÇA DA TAREFA		
1	Verificar o perfil de densidade em contínuo no programa IMAL Density Profile Meter					
CADEIA DE AÇÃO/REAÇÃO						
LIMITES DE REACÇÃO (Pontos de auto controlo)					AÇÃO / REACÇÃO	
Má formação nas faces (baixa densidade), assim como na transição da face para o núcleo (baixa densidade na transição)			1º. Mantendo a Velocidade, aumentar pressão nos grupos 1 e 2 da prensa por factor de correção mantendo pressões individuais do ciclo padrão ou ciclo gravado			
Perfil de densidade típico de fibra com baixa humidade, com baixa densidade no centro do núcleo e baixa densidade nas faces. Velocidade da prensa é demasiado alta para a humidade da fibra			1º. Reduzir velocidade da prensa (efeito imediato) regra de 5mm/s de cada vez e aguardar 6 placas para espessuras ≤19,9 mm e 3mm/s de cada vez para espessuras ≥20 mm 2º. Aumentar humidade da fibra e reajustar velocidade da prensa			
Má formação do núcleo da placa, que resulta em 3 picos no núcleo. Possível de distinguir do caso de humidade baixa uma vez que densidade nas faces é correcta.			1º. Reduzir pressão na zona de formação do núcleo no grupo 3 por factor de correção mantendo pressões individuais do ciclo padrão ou ciclo gravado			
Perfil indicativo de baixa humidade da fibra mas não crítico (note que densidade nas faces é correcta). Velocidade da prensa é alta, não havendo tempo suficiente para o núcleo ser trabalhado.			1º. Reduzir ligeiramente velocidade da prensa (efeito imediato) regra de 5mm/s de cada vez e aguardar 6 placas para espessuras ≤19,9 mm e 3mm/s de cada vez para espessuras ≥20 mm 2º. Aumentar ligeiramente humidade da fibra sem ultrapassar valor máximo de trabalho e reajustar velocidade prensa			
Perfil típico de fibra demasiado húmida para os ajustes de prensa, caracterizada por densidades muito altas nas faces e núcleo não trabalhado (baixa densidade). Permite velocidade elevada.			1º. Reduzir pressão nos grupos 1 e 2 (efeito imediato) por factor de correção mantendo pressões individuais do ciclo padrão ou ciclo gravado 2º. Reduzir humidade da fibra para valor STD e reajustar pressões da prensa			
Perfil indicativo de demasiada pressão na formação do núcleo, com zona de baixa densidade no centro do núcleo.			1º. Reduzir pressão no grupo 3, zona de formação do núcleo, por factor de correção mantendo pressões individuais do ciclo padrão ou ciclo gravado			
Perfil de baixa pressão na formação do núcleo, existindo zona de baixa densidade nas extremidades e no centro do núcleo.			1º. Reduzir pressão no grupo 3, zona de formação do núcleo, por factor de correção mantendo pressões individuais do ciclo padrão ou ciclo gravado			
Perfil típico de baixa humidade da fibra e/ou elevadas temperaturas na prensa			1º. Aumentar velocidade da prensa (efeito imediato) respeitando regra de 5mm/s de cada vez e aguardar 6 placas para espessuras ≤19,9 mm e 3mm/s de cada vez para espessuras ≥20 mm. O aumento não pode ultrapassar velocidade tabela CARB e não pode ser superior a 15 ou 12 mm/s segundo a espessuras sem ter resultado de laboratório. 2º. Aumentar humidade e reajustar velocidade da prensa.			
IMPACTO NOS INDICADORES DE RESULTADO			REGRAS GERAIS DE HIGIENE E SEGURANÇA DO POSTO DE TRABALHO			
Métrica		Meta				
REGRAS REACÇÃO AO STANDARD						
	Parâmetro/ Indicador:	Limite(s) de reacção (Min)	Limite(s) de reacção (Max)	Risco/ Consequências	Acção a tomar / Regra de Escalada	
	Perfil NOK	NA	NA	Qualidade produto	Registrar em observações de SFC o numero de placas afetadas pelo perfil NOK. Se superior a 10 placas, informar de imediato ST	
Data	Revisão	Modificação		Elaborado/Modificado	Aprovado HSE	Aprovado Resp.Processo
12/02/2021	0	Criação da Norma			NA	
14/03/2022	1	Revisão da Norma		JLPS	NA	PFR 14/03/2022
23/06/2023	2	Sequenciamento de atuação e descrição mais detalhada de forma de atuar		LMM	NA	

ANEXOS

ANEXO A

Ensaio Laboratoriais do Produto 9T1 de 01/01/2022 a 01/09/2023

ID	Nº Amostra	Data	Pilha	Placa Prato	saída/	Laço	C. Esp	EX	Paraf	A	X	Espes	Dens.	Resis. Tração (N/mm ²)		Repetição	Inch.	24h (%)	Med. Teor	Face	Nícl	Med	Nícl	Face	Ignifug.	Corri.	Veloc	HTL	PTL	Den	Fib		
														Med.	Perc																	Med.	Perc.
58100050462	92801	24.04.2020	16:46	26	0	3089	141.6	12.50	0.40	0.0	0.80	9.88	677.0	0.53	0.47	0.53	0.48	14.1	14.33	35.00	2979.5	5.0	951	641	685	79.0	138.8	0.00	5.99	10.8	8.5	34.0	
58100050462	64510	24.04.2020	17:30									9.20	688.7	0.57	0.50																		
58100050462	64511	24.04.2020	17:50									9.87	694.0	0.77	0.67																		
58100050519	92892	06.05.2020	05:25	8	0	3089	153.7	12.50	0.40	0.0	0.80	9.98	738.0	0.81	0.78			13.5	13.64		4.6	978	633	751	84.3	130.3	0.00	5.79	9.7	8.0	30.0		
58100050600	92916	08.05.2020	14:14	28	0	3089	144.1	13.50	0.40	0.0	0.80	9.94	690.0	0.73	0.66	0.75	0.70	12.1	12.28		5.8	951	605	685	87.0	136.8	0.00	7.74	10.0	9.0	37.3		
58100050671	93025	21.05.2020	05:57	27	0	3089	113.2	13.50	0.40	0.0	0.80	9.77	729.5	0.86	0.77			12.7	12.98	33.02	2722.6	5.4	929	645	724	89.0	128.3	0.00	7.37	10.4	8.4	33.7	
58100050670	93026	21.05.2020	09:37	61	0	3089	157.2	13.50	0.40	0.0	0.80	10.05	688.1	0.73	0.68	0.74	0.70	15.8	16.20		5.0	933	631	695	90.8	134.3	0.00		8.9	7.9	34.5		
58100050717	93096	28.05.2020	04:20	20	0	3089	159.5	13.50	0.40	0.0	0.80	9.91	733.6	0.80	0.75			11.7	12.03		5.5	949	664	736	90.3	129.0	0.00	5.16	9.2	9.2	30.7		
58100050787	93236	18.06.2020	19:46	10	0	3089	151.5	13.50	0.40	0.0	0.80	10.02	677.9	0.77	0.73			13.7	13.90		5.4	926	599	687	87.2	134.8	0.00	6.84	9.9	8.8	30.2		
58100050926	93441	06.07.2020	03:56	13	0	3089	147.9	13.50	0.40	0.0	0.80	9.82	731.0	0.82	0.78			12.6	12.84		4.9	939	664	732	90.7	128.2	0.00	4.95	10.3	8.7	26.9		
58100051113	93575	20.07.2020	14:43	11		3089	154.7	13.50	0.40	0.0	0.70	9.83	711.1	0.85	0.82			14.7	14.91		4.2	894	656	720	91.2	124.2		5.56	10.4	7.4	33.2		
58100052756	94840	25.11.2020	04:03	10		3089	113.7	12.50	0.40	0.0	0.70	9.68	693.5	0.78	0.71			17.2	17.52		4.5	940	615	694	88.7	135.4		4.79	9.8	7.8	26.5		
58100053244	95166	02.01.2021	02:15	5		3089	99.3	12.50	0.60	0.0	0.70	9.71	722.5	0.85	0.77			13.6	14.03		4.6	987	634	729	87.0	135.5	0.00	6.61	10.1	8.0	29.7		
58100053364	95283	12.01.2021	23:09	10		3089	129.6	12.50	0.40	0.0	0.70	9.95	676.4	0.60	0.56	0.67	0.57	14.9	15.12		4.4	939	596	692	87.4	137.7	0.00		9.6	8.3	27.4		
58100053364	64836	12.01.2021	23:13									9.20	678.4	0.74	0.69																		
58100056150	97019	06.07.2021	22:04	10		3089	96.9	13.00	0.40		0.70	9.58	678.4	0.86	0.80			14.7	15.15		4.6	904	612	685	89.4	132.1			9.2	8.0	28.1		
58100056396	98364	17.12.2021	15:49	30		3089	131.8	13.00	0.40		0.70	9.76	662.1	0.75	0.70			17.5	17.89		4.4	849	598	658	90.9	129.2		7.10	9.5	7.7	28.3		
58100058498	98431	02.01.2022	08:49	11		3089	131.8	13.00	0.40		0.70	9.79	660.2	0.66	0.60	0.65	0.57	14.6	14.96	34.45	2919.2	4.4	941	598	666	83.8	141.3		5.22	9.6	7.9	29.1	
58100058498	65727	02.01.2022	09:07									9.07	661.4	0.70	0.64																		
58100061576	100297	30.08.2022	21:07	11		3208	158.9	13.00	0.40	0.0	0.70	9.61	681.6	0.81	0.75			15.8	16.20		4.4	932	611	688	88.8	135.4		6.87	9.2	8.0	26.0		
58100062017	100597	20.10.2022	02:37	12		3089	121.9	13.00	0.40	0.0	0.70	9.68	681.2	0.71	0.66	0.76	0.71	14.6	15.00		4.7	988	610	691	88.3	140.0	0.00	5.89	9.2	8.6	29.4		
58100062017	100598	20.10.2022	06:40	709		3089	125.1	13.00	0.40	0.0	0.70		692	0.62	0.56	0.78	0.69																
58100063030	101091	30.01.2023	16:02	20		3089	131.6	13.00	0.40	0.0	0.70	9.66	688.6	0.53	0.49	0.56	0.52	20.2	20.63		3.7	896	605	698	86.6	127.0	0.00	6.03	9.1	7.3	26.8		
58100063030	66634	30.01.2023	16:49									9.22	686.2	0.61	0.57			16.6	17.03														
58100063030	66630	30.01.2023	18:49	36								9.20	664.5	0.62	0.56																		
58100063030	66637	30.01.2023	18:16									9.36	674.7	0.61	0.55																		
58100063030	66640	30.01.2023	18:17									9.18	660.7	0.66	0.61																		
58100063030	101092	30.01.2023	18:35	376		3089	113.0	13.00	0.40	0.0	0.70		692	0.70	0.64	0.71	0.66																
58100063030	101093	30.01.2023	21:19	763		3089	128.8	13.20	0.40	0.0	0.70	9.75	703.1	0.63	0.58	0.67	0.64	14.6	15.03		5.1	1018	619	715	86.6	142.5			9.1	8.7	26.5		
58100063030	66635	30.01.2023	21:45									9.40	682.0	0.72	0.67																		
58100063030	66636	30.01.2023	21:55									9.45	680.6	0.69	0.61																		
58100063030	66638	30.01.2023	22:16									9.21	673.6	0.68	0.63																		
58100063030	66639	30.01.2023	23:19									9.39	670.8	0.70	0.66																		

ANEXO B

Atualização da Ficha Técnica do Produto 9T1

