

**Melhoria Contínua aplicada à etapa de
secagem de pasta solúvel *Eucalyptus
globulus* produzida pelo processo de
bissulfito**
(Versão Final Após Desesa)

Matilde Ladeira Matias

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Joana Magalhães Gonçalves Costa Vieira

dezembro de 2024

Declaração de Integridade

Eu, Matilde Ladeira Matias, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M12586 do 2º ciclo de estudos em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 20 / 12 / 2024

Matilde Ladeira Matias

Dedicatória

Dedico a concretização deste sonho à minha avó Maria que faleceu durante esta etapa universitária e que me deu força para a poder concluir com sucesso.

Estará para sempre no meu coração!

Agradecimentos

Primeiramente, quero agradecer aos meus pais que durante estes 24 anos estiveram sempre lá para tudo aquilo que precisei e que possibilitaram a concretização da minha licenciatura em Química Industrial e do mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. A toda a minha família, madrinha Amália, avô Gil, padrinho José, tia Arminda e prima Lenita, sem nunca esquecer os restantes tios e primos que sempre torceram por mim.

Aos meus anjos da guarda, as minhas avós, que guardarei para sempre no meu coração, avó Alice e Maria.

Obrigada à minha Maghy que durante os últimos dois anos nunca me deixou ir abaixo e me apoiou incondicionalmente num dos momentos mais complicados da minha vida. Sem nunca esquecer a minha Lulu e a minha Renatinha que desde os 3 anos, estão sempre lá para mim e que conto serem para a vida toda. Uma palavra para uma pessoa muito especial, o Mauro, que me fez acreditar que tudo é possível, só temos de confiar. Ainda um agradecimento especial aos meus amigos, Joana, Camila e Edgar que a Covilhã me deu e que foram a minha segunda família, enquanto estive na Cidade de Neve, obrigada por me aturarem.

Quero ainda agradecer a todos professores que me proporcionaram conhecimento ao longo destes 5 anos de aprendizagens, em especial aos professores do departamento de química e eletromecânica da Universidade da Beira Interior. Principalmente, à minha orientadora, professora doutora Joana Vieira, que mesmo nunca tendo sido minha professora, aceitou de imediato, ao meu convite para orientar o meu estágio. Para além disso, sempre se demonstrou acessível para o que fosse necessário, durante a realização do mesmo.

Por fim, mas não menos importante quero deixar aqui um enorme agradecimento à Caima, por permitir a realização do estágio nas suas instalações. As empresas são feitas de pessoas e só tenho a agradecer o enorme apoio e passagem de conhecimento de uma enorme equipa que torna possível o funcionamento da fábrica. Em especial à minha orientadora, engenheira Filipa Lopes, que nunca me deixou desistir e que me ensinou que se deve sempre encarar a vida olhando para os pontos positivos. Enaltecendo também, o apoio dos engenheiros Rui, Samuel e Pedro, das engenheiras Mia, Ana Leonor, Soraia, Sarah, Ângela e Paula e de toda a equipa do laboratório, que sempre foram incansáveis. Para além disso, não me esqueço de toda a aprendizagem sobre a

secção que me foi passada pela equipa da secagem, a todos os coordenadores de secagem e operadores, sem nunca esquecer os coordenadores de fábrica, obrigada a todos pela paciência. Deixo também uma palavra de agradecimento à doutora Raquel Almeida, por me ter dado a oportunidade de conhecer o funcionamento de uma enorme fábrica e de estar presente para tudo o que era necessário.

Obrigada a todos!

Resumo

Atualmente, torna-se insurgente promover a melhoria de produtos e a otimização de processos, de modo a manter a empresa no mercado, com elevada competitividade.

A realização deste estágio visa a melhoria do controlo de qualidade da etapa de secagem da pasta solúvel. Para que isso fosse possível, foi elaborada uma revisão bibliográfica acerca das temáticas relevantes e apresentada a empresa e o seu processo produtivo. Nunca esquecendo a análise estatística de várias variáveis da máquina relacionadas com a humidade e a gramagem, os pilares deste caso de estudo.

Com o objetivo de colmatar ou minimizar os problemas detetados aplicaram-se metodologias 3C, de modo a identificar as causas e referenciar as contramedidas em questão. Assim, torna-se crucial, a criação de uma Matriz de esforço e impacto, priorizando a implementação das ações sugeridas para promover uma uniformização de gramagem, um perfil de humidade constante e melhores condições de trabalho para aquela secção e para todos os trabalhadores. Apresentam-se ainda, algumas propostas de ações de melhoria contínua para estudos complementares posteriores aos sugeridos neste trabalho.

Em suma, torna-se insurgente aumentar rotinas preventivas por parte do departamento de manutenção, assim como a resolução de problemas na fase inicial da secagem e na formação de folha.

Palavras-chave

Celulose; Controlo; Gramagem; Humidade; Melhoria Contínua; Pasta Solúvel; Processo; Secagem

Abstract

Nowadays, it has become insurgent to promote product improvement and process optimization, to maintain the company in the market, with high competitiveness.

This work aims to improve quality control in the dissolving pulp drying stage. To make this possible, a bibliographical review was prepared on the relevant topics and an overview of the company, and its production process were presented. Never forgetting the statistical analysis of several machine variables related to humidity and grammage, the pillars of this case study.

With the aim of solving or minimizing the problems detected, 3C methodologies were applied, in order to identify the causes and reference the countermeasures in question. Therefore, it is crucial to create an effort and impact Matrix, prioritizing the implementation of the suggested actions to promote uniform grammage, a constant humidity profile and better working conditions for that section and for all workers. Some proposals for continuous improvement actions are also presented for additional studies following those suggested in this work.

In short, it is essential to increase preventive routines by the maintenance department, as well as problem solving in the initial phase of drying and sheet formation.

Keywords

Cellulose; Continuous Improvement; Control; Dissolving Pulp; Drying; Grammage; Moisture; Process

Índice

Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos do Estágio	1
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura do Relatório	2
Capítulo 2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Matéria-prima: Madeira	5
2.1.1 <i>Eucalyptus globulus</i>	5
2.2 Secagem da pasta	6
2.3 Pasta Solúvel	7
2.4 Ferramentas de melhoria contínua	8
2.4.1 Ciclo PDCA	8
2.4.2 Metodologia 3C	9
2.4.2.1 Diagrama de <i>Ishikawa</i>	10
2.5 Matriz de Esforço e Impacto	11
2.6 Manutenção	11
2.6.1 Políticas de Manutenção de equipamentos	12
2.6.1.1 Manutenção Corretiva	12
2.6.1.2 Manutenção Preventiva	12
2.6.1.3 Manutenção Melhorativa	12
Capítulo 3. Apresentação da empresa	13
3.1 Caracterização da empresa	13
3.1.1 Missão, visão estratégica e valores	15
3.1.1.1 Missão	15
3.1.1.2 Visão estratégica	15
3.1.1.3 Valores	16
3.1.2 Certificações	16
3.2 Descrição do Processo Produtivo	17
3.2.1 Matéria-prima: Madeira	17
3.2.2 Receção e Processamento da matéria-prima	17
3.2.3 Preparação do ácido de cozimento	20
3.2.4 Cozimento	20
3.2.5 Lavagem	22

3.2.6 Branqueamento	22
3.2.7 Secagem	22
3.2.7.1 Sistema de aproximação de fluxo e depuração	23
3.2.7.2 Formação de folha e máquina	23
3.2.7.3 Secaria e cortadeira	24
3.2.8 Linha de embalagem	25
3.2.8.1 Caracterização da pasta	26
3.2.9 Direção de Manutenção Industrial	26
Capítulo 4. Apresentação e discussão de resultados	27
4.1 Caso de estudo	27
4.2 Descrição das atividades desenvolvidas	27
4.2.1 Análise de gramagem de base húmida	27
4.2.2 Humidade	28
4.2.2.1 Sistema Forté	28
4.2.2.2 Validação em estufa	28
4.2.2.3 Método da balança rápida	29
4.2.3 Consistência	29
4.3 Análise crítica das atividades desenvolvidas	29
4.3.1 Humidade	29
4.3.2 Gramagem e peso do fardo	32
4.3.3 Relação entre humidade e gramagem	34
4.3.4 Correlações com variáveis processuais	35
4.3.5 Consistências	40
4.4 Metodologia 3C aplicada ao caso de estudo	42
4.4.1 Problema 1	42
4.4.2 Problema 2	44
4.5 Relação entre sugestões de melhoria e manutenção	46
4.5.1 Problema 3	47
4.5.2 Problema 4	47
4.5.3 Problema 5	47
4.5.4 Problema 6	48
4.6 Matriz de esforço e impacto aplicada ao caso de estudo	48
Capítulo 5. Conclusão	53
5.1 Considerações Finais	53
5.2 Propostas de Melhoria para trabalhos futuros	54
Referências Bibliográficas	55
Anexos	59

Anexo I. Certificado de Aprovação ISO 9001:2015	59
Anexo II. Análise gráfica das humidades com a gramagem em cada fardo	60
Anexo III. Análise gráfica das humidades com o peso do fardo em cada fardo	63
Anexo IV. Análise gráfica entre Δ Gramagem e Δ Humidade (balança rápida)	66
a) Média de gramagem (entre 5 fardos)	66
b) Máximo de gramagem (entre 5 fardos)	66
Anexo V. Análise gráfica entre Δ Gramagem, Δ Humidade (balança rápida) e pressão das prensas	67
Anexo VI. Análise gráfica entre Δ Gramagem, Δ Humidade (balança rápida) e variáveis da máquina	72

Lista de Figuras

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

Figura 1 - Composição química da madeira (Adaptado de Marques, 2014)	5
Figura 2 – Quantidade de produtos resultantes da pasta solúvel no mundo (Ji e Zhao, 2015)	8
Figura 3 – Etapas do ciclo PDCA (<i>Plan-Do-Check-Act</i>)	9
Figura 4 – Modelo 3C (Caso, Causa e Contramedida)	10
Figura 5 – Representação do Diagrama de <i>Ishikawa</i>	10
Figura 6 – Matriz de Esforço e Impacto	11

Capítulo 3. Apresentação da empresa

Figura 7 – Caima S.A., em Constância Sul	13
Figura 8 – Organigrama da Caima S.A. (Manual de Integração, 2023)	15
Figura 9 – Linha cronológica de creditações e certificações da Caima S.A (Caima, 2024)	16
Figura 10 – Fluxograma do processo (Caima, 2024)	17
Figura 11 – Formas de entrada de madeira na fábrica: a) Troncos com casca; b) Troncos sem casca; c) Estilha	18
Figura 12 – Fluxograma da preparação da madeira (Santos e Peres, 2017)	20
Figura 13 – Esquema do processo de cozimento bissulfito (Santos e Peres, 2017)	21
Figura 14 – Aproximação de fluxo (DCS® - <i>Distributed Control Systems</i> , Honeywell)	23
Figura 15 – Formação de folha (DCS®, Honeywell)	24
Figura 16 – Secaria (DCS®, Honeywell)	24
Figura 17 – Cortadeira (DCS®, Honeywell)	25

Capítulo 4. Apresentação e discussão de resultados

Figura 18 – Valores de humidade obtidos através do Sistema Forté, por fardo	30
Figura 19 – Valores de humidade obtidos na estufa, por fardo	30
Figura 20 – Valores de humidade obtidos na balança rápida, por fardo	31
Figura 21 – Desvio entre humidade de estufa e Forté em cada fardo	31
Figura 22 – Desvio entre humidade de estufa e balança rápida em cada fardo	32
Figura 23 – Valores de gramagem por fardo	33
Figura 24 – Análise do peso do fardo, por fardo	33

Figura 25 – a) Relação entre valores de humidade (balança rápida) e gramagem; b) Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e Δ Gramagem	34
Figura 26 – Relação entre (Valor de humidade validação estufa-Valor de humidade Forté) e a Gramagem	35
Figura 27 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e abertura válvula de gramagem	38
Figura 28 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e velocidade da máquina	38
Figura 29 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e caudal de vapor	39
Figura 30 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e temperatura de vapor na secaria	39
Figura 31 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e relação jato/tela	40
Figura 32 – Consistências dos rejeitos dos <i>trimmers</i> do lado de serviço (LS) e de acionamento (LA)	41
Figura 33 – a) Relação entre tensões e consistência do lado de serviço (LS); b) Relação entre tensões e consistência do lado de acionamento (LA)	41
Figura 34 – Representação dos <i>nips</i> dos rolos das prensas	42
Figura 35 – Diagrama de <i>Ishikawa</i> – Gramagem	42
Figura 36 – Diagrama de <i>Ishikawa</i> com as causas – Humidade	44
Figura 37 – Folha de dados Excel® para elaboração da matriz de esforço e impacto	49
Figura 38 – Folha de dados Excel® para elaboração da matriz de esforço e impacto (continuação 1)	49
Figura 39 – Folha de dados Excel® para elaboração da matriz de esforço e impacto (continuação 2)	50
Figura 40 – Matriz de esforço e impacto ou de Prioridades, aplicada ao caso de estudo	51
Anexos	
Figura I1 – Certificado de Aprovação ISSO 9001:2015 da Caima S.A.	59
Figura II1 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 1	60
Figura II2 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 2	60

Figura II3 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 3	61
Figura II4 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 4	61
Figura II5 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 5	62
Figura III1 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 1	63
Figura III2 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 2	63
Figura III3 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 3	64
Figura III4 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 4	64
Figura III5 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 5	65
Figura IV1 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e gramagem média dos 5 fardos	66
Figura IV2 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e máximo de gramagem dos 5 fardos	66
Figura V1 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão das prensas húmidas	67
Figura V2 – Relação entre Δ Gramagem e pressão das prensas húmidas	67
Figura V3 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão das prensas húmidas (antes da troca de telas)	68
Figura V4 – Relação entre Δ Gramagem e pressão das prensas húmidas (antes da troca de telas)	69
Figura V5 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão das prensas húmidas (depois da troca de telas)	69
Figura V6 – Relação entre Δ Gramagem e pressão das prensas húmidas (depois da troca de telas)	70
Figura V7 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão da prensa 1	70
Figura V8 – Relação entre Δ Gramagem e pressão da prensa 1	70
Figura V9 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão da prensa seca	71

Figura V10 – Relação entre Δ Gramagem e pressão da prensa seca	71
Figura VI1 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e Temperatura da caixa de entrada	72
Figura VI2 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e pH	72
Figura VI3 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e Consistência de entrada da mesa	73
Figura VI4 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e Temperatura da Secaria	73

Lista de Tabelas

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

Tabela 1: Composição do <i>Eucalyptus globulus</i> (Adaptado de Sixta, 2006)	6
Tabela 2: Tabela representativa da evolução em modelos de secagem da pasta	7
Tabela 3: Comparação entre pasta solúvel e pasta de papel	8

Capítulo 3. Apresentação da empresa

Tabela 4: Consequências do tamanho da estilha no processo (Caima - IO Preparação de madeira, 2024)	19
Tabela 5: Medição de parâmetros da pasta	25
Tabela 6: Parâmetros de caracterização da pasta Caima 92 (Caima- PGQ de Amostragem e classificação da pasta, 2024)	26

Capítulo 4. Apresentação e discussão de resultados

Tabela 7: Representação do lugar de cada fardo	27
Tabela 8: Análise dos coeficientes de determinação relativamente às variáveis da máquina	37
Tabela 9: Causas e contramedidas sobre a não uniformização da gramagem ao longo da folha	43
Tabela 10: Causas e contramedidas sobre a não uniformização de humidade ao longo da folha	45
Tabela 11: Ações ordenadas segundo prioridade	52

Anexos

Tabela V1: Impacto da troca de telas na correlação linear da pressão com as variáveis em estudo	68
-------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Lista de Acrónimos

BEKP	<i>Bleached Eucalyptus Kraft Pulp</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
DCD	<i>Dirt Count Analyzer</i>
DCS	<i>Distributed Control Systems</i>
DMI	Direção de Manutenção Industrial
DP	Direção de Produção
DTE	Direção de Técnicas de Engenharia
DWP	<i>Dissolved Wood Pulp</i>
ETARI	Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
IFN6	6º Inventário Florestal Nacional
IO	Instrução de Operação
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
m	Massa
NP EN ISO 9001	Norma Portuguesa do Sistema de Gestão da Qualidade
NP	Norma Portuguesa
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PGQ	Procedimento de Gestão de Qualidade
SCTSG	Sistema de Controlo Técnico e Sistemas de Gestão
TCF	<i>Totally Chlorine Free</i>
UBI	Universidade da Beira Interior

Capítulo 1

Introdução

Neste primeiro capítulo, encontra-se o enquadramento do trabalho desenvolvido, de forma a introduzir a temática a ser estudada, a apresentação dos objetivos do estágio, a metodologia utilizada ao longo do trabalho e, por fim, a estrutura deste relatório de estágio.

1.1 Enquadramento

O presente relatório de estágio representa o trabalho desenvolvido durante 3 meses, entre fevereiro e maio, na empresa Caima S.A., sob a orientação da Professora Doutora Joana Costa Vieira, docente na UBI (Universidade da Beira Interior) e pela Engenheira de Processo Filipa Lopes, na referida empresa.

A indústria onde a Caima S.A. se encontra introduzida, trata-se da indústria de celulose, que transforma madeira de eucalipto e/ ou pinheiro em folhas de pasta. Na maioria das vezes, associa-se a pasta à pasta de papel. No entanto, a Caima S.A., encontra-se na vanguarda de novos mercados a nível nacional, graças à produção de pasta solúvel, sendo a única fábrica a produzir pasta solúvel em Portugal.

Assim e com o objetivo de tornar este produto cada vez mais competitivo e com a máxima qualidade, é essencial, executar melhorias no processo. Neste caso, este estudo foi realizado apenas na secção da secagem, com pontos cruciais definidos (humidade, gramagem e formação da folha) que possibilitassem encontrar soluções no controlo de qualidade.

1.2 Objetivos do Estágio

Este estágio teve como principal objetivo, a identificação e melhoria do controlo de qualidade do processo de secagem da pasta solúvel, produzida na Caima S.A., com o propósito de desenhar soluções/ações para melhorar a qualidade final do produto.

Assim podem ainda ser referenciados alguns objetivos específicos:

- Realização de uma revisão bibliográfica acerca das temáticas em estudo;
- Apresentação da empresa;

- Caracterização do processo produtivo;
- Identificação e análise estatística das variáveis com impacto significativo no processo.

1.3 Metodologia

Este estágio iniciou-se com uma pesquisa, que resultou numa recolha de informação para elaborar a revisão bibliográfica. Esta surge de uma análise de artigos científicos de jornais ou revistas, livros ou *websites* acedidos em motores de busca como o *Web of Science* e/ ou o *Scopus*.

Para além disso, executaram-se análises em laboratório para a posterior elaboração de gráficos de barras e gráficos de dispersão, de modo a averiguar os resultados vindos do estudo em laboratório. De forma a obter conclusões ainda mais corretas e aumentar a quantidade de dados em estudo, foram também analisados os dados do processo que constam do histórico existente na base de dados da empresa.

1.4 Estrutura do Relatório

Este relatório de estágio, como já foi abordado anteriormente, terá como principal objetivo, uma melhoria contínua no que diz respeito à secção de secagem da pasta, na empresa Caima S.A.

A concretização da parte escrita do relatório, incluirá 5 capítulos. O primeiro, introduz o tema, a partir da contextualização do trabalho desenvolvido, da apresentação dos objetivos, tanto geral, como os específicos do estágio, a metodologia utilizada e ainda a estruturação do mesmo.

No segundo capítulo, surge a revisão bibliográfica, onde se encontram as várias temáticas, a matéria-prima (madeira de *Eucalyptus globulus*), a apresentação dos vários modelos de secagem da pasta ao longo dos anos, a caracterização da pasta solúvel, fazendo também uma breve comparação entre esta e a pasta papelreira. Neste capítulo, surge ainda a referência a algumas ferramentas de melhoria contínua, como, o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), a Metodologia 3C (Caso, Causa e Contramedida) e o Diagrama de *Ishikawa*. Para além disso, encontra-se exposta a matriz de Esforço e Impacto, a definição de manutenção, onde estão descritas as múltiplas políticas de manutenção de equipamentos.

O terceiro capítulo está essencialmente dedicado à apresentação da empresa, desde a missão, visão estratégica, valores e as certificações que detém. Para além disso, também neste capítulo, são descritas as várias etapas do processo produtivo e consta uma breve apresentação do departamento de manutenção, que se encontra diretamente ligado à produção.

Seguidamente, o quarto capítulo, reflete a apresentação e discussão de resultados, iniciando com uma breve explicação do caso de estudo, onde são apresentados os resultados obtidos a partir das atividades desenvolvidas e a análise crítica dessas mesmas atividades. Assim, procede-se à aplicação da Metodologia 3C e da elaboração da Matriz de esforço e impacto ao caso de estudo. Ainda foram relacionadas as sugestões de melhoria propostas e o que é feito atualmente, no departamento de manutenção.

Após um exaustivo trabalho de investigação, no quinto e último capítulo estão presentes as conclusões e as propostas de melhoria para trabalhos futuros.

Por fim, o relatório termina referindo as referências bibliográficas, onde constam os recursos usados para a sua realização e os anexos.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

O segundo capítulo deste relatório pretende apresentar um enquadramento teórico das várias temáticas abordadas ao longo do mesmo. Aqui estão presentes, informações acerca da matéria-prima, modelos de secagem da pasta, caracterização da pasta solúvel, apresentação de várias ferramentas de melhoria contínua e descrição da matriz de esforço e impacto. Por fim, surgem as políticas de manutenção.

2.1 Matéria-prima: Madeira

A madeira consiste num material orgânico que contém carbono, oxigénio, hidrogénio, nitrogénio e alguns elementos inorgânicos (Sixta, 2006). Esta matéria-prima é composta por polímeros, como a celulose, as hemiceluloses, a lenhina e outros componentes de menores dimensões, como cinzas e extratáveis (Pereira *et al.*, 2009). De forma resumida, encontra-se toda a informação no esquema representado na Figura 1.

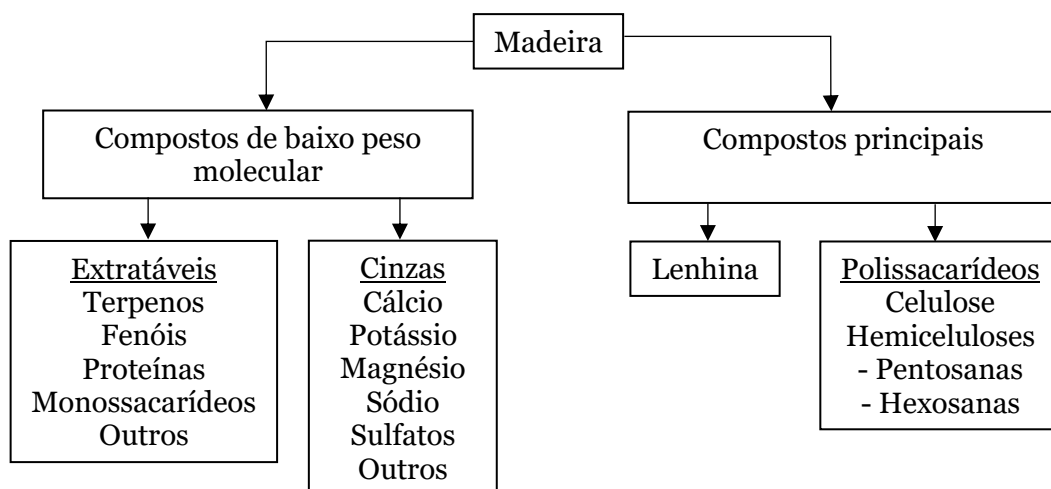


Figura 1 – Composição química da madeira (Adaptado de Marques, 2014)

2.1.1 *Eucalyptus globulus*

O *eucalyptus globulus*, que tem a sua composição química representada na Tabela 1, foi descoberto na Tasmânia em 1799 por Labillardière e foi introduzido na Europa, no século XIX, por monges e naturalistas (Serralves, 2024; UTAD jardim botânico, 2024). Trata-se de uma árvore perene, aromática, que possui folhas jovens verde-azuladas e em forma de foice (Invasoras, 2020). Esta espécie foi trazida para Portugal em 1830 (The Navigator

Company, 2024) e tem vindo a alcançar um lugar de destaque na floresta nacional. Segundo o 6º Inventário Florestal Nacional (IFN6), os eucaliptos representam 844 mil hectares na floresta continental (ICNF, 2019).

Tabela 1: Composição do *Eucalyptus globulus* (Adaptado de Sixta, 2006)

<i>Eucalyptus globulus</i>		
Celulose		51,3%
Lenhina		21,9%
Hemiceluloses	Glucoroxilanas	19,9%
	Glucomanananas	1,4%
	Outros polissacarídeos	3,9%
Extratáveis		1,3%

2.2 Secagem da pasta

A secagem da pasta consiste num processo de evaporação de água e ao longo dos anos, surgiram vários modelos, que se encontram expostos na Tabela 2.

Tabela 2: Tabela representativa da evolução em modelos de secagem da pasta

Data	Modelo	Referência(s)
1980; 2015	Identificação das condições de humidade na secaria, através de balanços de energia e massa.	Videauet, Lemaitre & Foulard, 1980; Ghodbanan, Alizadeh & Shafiei, 2015
1994	Definição das condições de humidade ao longo da espessura da pasta, consumo específico de vapor e o efeito das variáveis do processo.	Reardon, 1994
1995	1ª Teoria da secagem, proposta por Nissan e Kaye. Esta dividiu a secagem em quatro fases.	Sadeghi, 2003
1997	Controlo do processo de secagem, relacionando a humidade, vapor saturado e os cilindros de secagem, em equações diferenciais.	Berrada <i>et al.</i> , 1997
2004	- Adicionaram a energia de desorção às equações diferenciais, prevendo a temperatura do feltro e da superfície dos cilindros na secaria; - Determinação de coeficientes de transferência de calor entre a secaria e a pasta, e esta com o ar.	Yeo <i>et al.</i> , 2004
	Relação do coeficiente de transferência de calor entre o vapor saturado e a secaria com a velocidade da máquina.	Nilsson, 2004
2007	Solução para prever a contração da folha durante a secagem.	Karlsson & Stenström, 2007
2011	Modelo não linear para minimizar o consumo específico de vapor. Este era determinado através de uma relação linear com a massa de água evaporada.	Li <i>et al.</i> , 2011
	Modelo para avaliar a eficiência energética de uma máquina de papel de jornal, a partir de balanços energéticos e mássicos ao papel, água e ar.	Kong & Liu, 2011

2.3 Pasta Solúvel

A pasta solúvel é idêntica à pasta para produção de papel. No entanto, na primeira etapa do processo da pasta solúvel consiste na solubilização num banho de soda cáustica. Para

além disso, existem também diferenças no que diz respeito às características físicas e químicas de cada pasta, enumeradas na Tabela 3 (Altri News, 2018).

Tabela 3: Comparação entre pasta solúvel e pasta de papel

	Pasta Solúvel	Pasta papeleira
Brancura	+	-
Teor de cinza	-	+
Teor de cálcio	-	+
Níveis de α -celulose	+	-

A pasta solúvel é matéria-prima de vários produtos, como a viscose, acetato, nitrato e éter de celulose (Liu *et al.*, 2016). Na Figura 2, está representada a percentagem destes vários produtos produzidos ao longo do mundo.

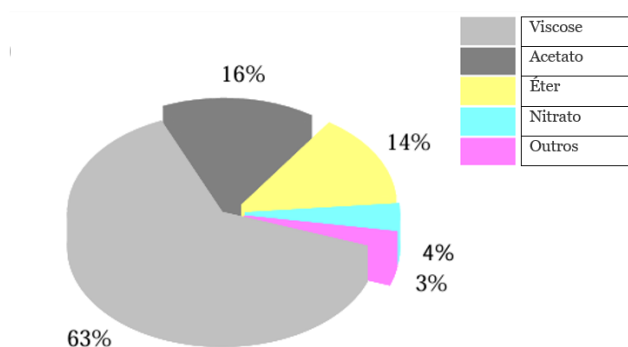


Figura 2 – Quantidade de produtos resultantes da pasta solúvel no mundo (Ji & Zhao, 2015)

2.4 Ferramentas de melhoria contínua

2.4.1 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) ou ciclo de *Deming* é uma ferramenta de melhoria contínua que tem por base 4 etapas, listadas de seguida e apresentadas na Figura 3 (Accept, 2024):

1. Planear, onde se identifica o problema, estabelecem-se objetivos e metas, planeiam-se estratégias, definem-se melhorias e traça-se um plano de ações;

2. Fazer, através da implementação de um plano de ação, investindo no tempo da capacitação e sensibilização da equipa e na atribuição de tarefas de forma responsável;
3. Validar, analisando os principais KPIs (*Key Performance Indicators*) e verificando se as questões das etapas anteriores foram alcançadas com sucesso;
4. Atuar, implementando de ações corretivas, tendo em conta os resultados esperados e os alcançados.

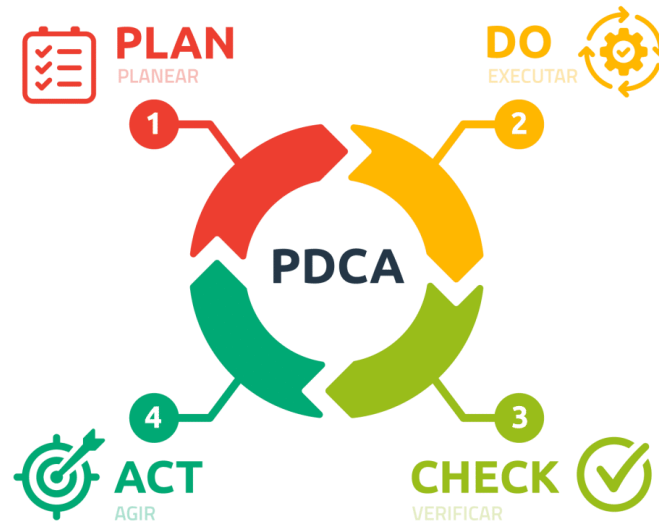


Figura 3 – Etapas do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*)

2.4.2 Metodologia 3C

A Metodologia 3C ou *3C's Problem Solving* tem como objetivo, a identificação e resolução de problemas, seguindo uma estrutura de 4 fases. A primeira é apelidada de Caso, onde se define o problema, posteriormente encontra-se a Causa, na qual, como o próprio nome indica, se identificam as causas do problema, com a ajuda de um Diagrama de *Ishikawa*. Na 3ª fase, está presente a Contramedida, onde se expõem as ações corretivas a serem aplicadas. Por fim, na 4ª fase, a validação, onde se verificam as várias soluções propostas (Kaizen, 2024). Estas fases encontram-se representadas na Figura 4, num modelo já utilizado pela Caima S.A. para solucionar ou minimizar problemas.

3C (CASO, CAUSA, CONTRAMEDIDA)

Tema 3C: Data de Abertura: Data de Fecho:

Responsável: Equipa:

1. Problema - CASO

2. Causa do Problema - CAUSA

DIAGRAMA DE ESPINHA DE PEIXE

4. Verificação de Soluções

3. Plano de Ações - CONTRAMEDIDAS

#	AÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA CONCLUSÃO
1			
3			
4			

Figura 4 – Modelo 3C (Caso, Causa e Contramedida)

2.4.2.1 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de *Ishikawa*, também apelidado por Diagrama de causa-efeito (Figura 5) foi desenvolvido pelo professor Karou *Ishikawa* e utilizado pela primeira vez por *Sumitomo Electric* (Górny, 2017). Este permite identificar as causas do problema, divididas em 6, designadas 6 M's da cadeia produtiva, que representam áreas distintas que podem de algum modo, influenciar o processo. Estas são a mão de obra, métodos, máquinas, materiais, meio ambiente e medição (Inácio *et al.*, 2013).

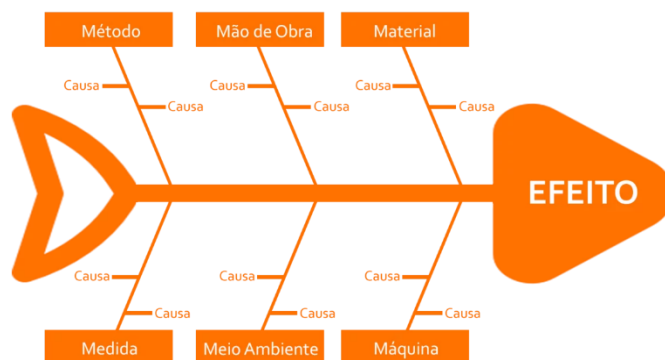


Figura 5 – Representação do Diagrama de *Ishikawa*

2.5 Matriz de Esforço e Impacto

O método Matriz de Esforço e Impacto (Figura 6) pretende priorizar ações em processos de tomada de decisão. Esta matriz tem como variáveis, o esforço (eixo das abcissas), que descreve o volume de trabalho e o orçamento necessário para a ação ser realizada e o impacto (eixo das ordenadas), que representa os ganhos obtidos relativos à aplicação da medida (maior produção, melhor qualidade no processo e no produto final e conseqüentemente, maior lucro) (Lachovicz *et al.*, 2020).

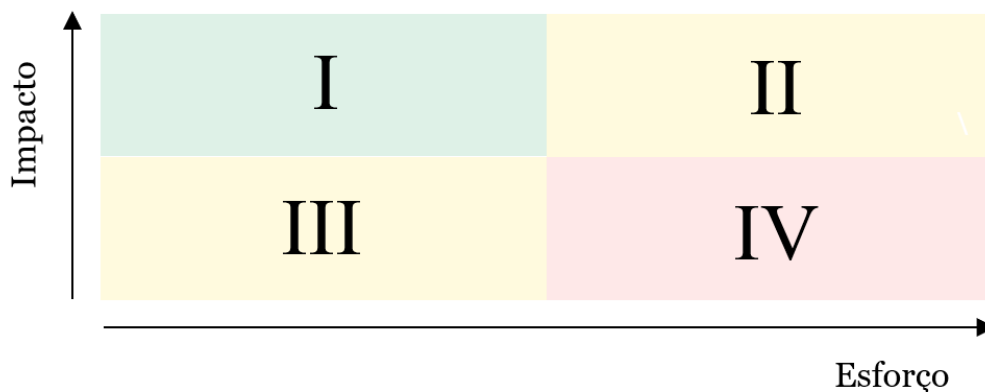


Figura 6 – Matriz de Esforço e Impacto

Tal como se pode observar na Figura 6, a matriz é constituída por quatro quadrantes (Lachovicz *et al.*, 2020):

- Quadrante I: Elevado ganho para a organização, sem muito esforço necessário;
- Quadrante II: Elevado ganho para a organização, mas tem elevado esforço;
- Quadrante III: Não acrescenta muito ganho para a organização, no entanto, com baixo esforço;
- Quadrante IV: Não acrescenta muito ganho para a organização e tem elevado esforço.

2.6 Manutenção

A Manutenção está diretamente ligada à produção, visto ser de enorme importância, existir uma avaliação dos equipamentos e daí resultar em rotinas preventivas, reparações ou substituições (Cabrita & Silva, 2002).

Assim, Manutenção consiste na combinação de ações de gestão, técnicas e económicas, com o objetivo de otimizar o ciclo de vida de equipamentos e instalações, garantindo assim, boas condições de operacionalização (Cabral, 2006; Cabrita & Silva, 2002).

2.6.1 Políticas de Manutenção de equipamentos

As Políticas de Manutenção são estabelecidas tendo em conta as características e os parâmetros dos equipamentos e do processo em si. Abaixo, encontram-se representadas as 4 políticas de manutenção: Corretiva, Preventiva Sistemática, Preventiva Condicionada e Melhorativa (Cabrita & Silva, 2002).

2.6.1.1 Manutenção Corretiva

A Manutenção corretiva tem como objetivo, reparar avarias, restabelecendo o funcionamento seguro e eficiente do equipamento (Cabrita & Silva, 2002).

2.6.1.2 Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva diverge em dois conceitos, Sistemática e Condicionada.

Manutenção Preventiva Sistemática, é efetuada com periodicidade fixa através de (Cabrita & Silva, 2002):

- Inspeções periódicas a pontos do equipamento, que podem originar intervenções;
- Revisões gerais de trabalhos programados de manutenção, que ocorrem quando há paragem do equipamento ou instalação.

Manutenção Preventiva Condicionada, ocorre em função do estado do equipamento, atendendo ao controlo do estado de funcionamento do equipamento através de variáveis, como, vibração ou temperaturas. Assim, este tipo de manutenção permite antecipar futuras avarias através da análise de dados estatísticos, reduzindo o número de manutenções corretivas (Cabrita & Silva, 2002).

2.6.1.3 Manutenção Melhorativa

Neste tipo de manutenção, é feito um estudo para averiguar e posteriormente, realizar alterações no equipamento, de forma a eliminar operações de manutenção (Cabrita & Silva, 2002).

Capítulo 3

Apresentação da empresa

Neste capítulo será apresentada a empresa onde foi realizado o estágio que deu origem a este relatório. Para além disso, será descrito o processo produtivo da Caima S.A.

3.1 Caracterização da empresa

A Caima foi fundada a 17 de maio de 1888, com o nome, *The Caima Estate & Wood Pulp Company, Ltd.*, em Albergaria, junto ao Rio Caima e tinha como objetivo, produzir pasta crua, pelo processo do bissulfito de cálcio, a partir de pinho local, tendo sido alterado posteriormente para eucalipto, neste caso, *eucalyptus globulus* (Caima, 2018).

No ano de 1960, começou a ser construída a fábrica em Constância, mais especificamente, em Constância Sul, representada na Figura 7, tendo sido inaugurada em 1962. Em 1975, terminou a produção de pasta que tinha por base, o cálcio, que foi substituído pelo magnésio. Já em 1991, decorreu a passagem para pasta TCF (*Totally Chlorine Free*), totalmente isenta de cloro (Caima, 2018).



Figura 7 – Caima S.A., em Constância Sul

Em 2005, a Cofina comprou a Caima e depois de ter adquirido a Biotek, anteriormente, Celtejo, localizada em Vila Velha de Rodão, formou o Grupo Altri, que comprou no ano seguinte, a Celbi, situada na Leirosa, próxima da Figueira da Foz. Na altura, estas três fábricas produziam pasta papelreira (fibras celulósicas BEKP - *Bleached Eucalyptus Kraft Pulp*). Para além, destas 3 fábricas, o grupo Altri, possui ainda uma empresa que está diretamente ligada à gestão florestal de todo o grupo, a Altri Florestal, localizada no

Furadouro. No que diz respeito a energias renováveis, a Altri, detém 57,8% da empresa *Green Volt* (Altri, 2024).

Em 2013, ocorreu a conversão para pasta solúvel (fibras celulósicas solúveis - DWP *Dissolved Wood Pulp*), com a implementação das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD), como o cozimento estendido e a deslenhificação por oxigénio. Entre 2015 e 2021, foram feitas requalificações ou mesmo novas instalações ao longo do processo, desde o branqueamento, lavagem, ETARI (Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais) e linha de embalagem (Caima, 2024).

Posteriormente, em 2022, aconteceu a cisão-fusão da Caima Indústria de Celulose e Caima Energia, culminando em Caima S.A. Para além disso, iniciou-se a construção da nova caldeira a biomassa, que atualmente se encontra em funcionamento (Caima, 2024).

A Caima, S.A. é a única empresa em Portugal a gerar pasta solúvel através do processo do bissulfito de magnésio, tendo a capacidade para alcançar 125 mil toneladas de pasta por ano. Complementarmente à atividade principal de produção de pasta, esta, encontra-se também presente no setor das energias renováveis, com 1 central termoelétrica a biomassa em operação, que produz a energia elétrica, a partir de biomassa florestal, tendo a capacidade térmica de 72 MWt (Caima, 2024).

Para alcançar estes objetivos, a Caima S.A., conta atualmente com 190 colaboradores e a sua estrutura conta com 5 principais setores/direções, tal como se pode observar no organigrama apresentado na Figura 8 (Caima - Manual de Integração, 2024):

- Direção de Produção (DP);
- Coordenação de fábrica;
- Direção de Manutenção Industrial (DMI);
- Direção de Técnicas de Engenharia (DTE);
- Setor de Controlo Técnico e Sistemas de Gestão (SCTSG).

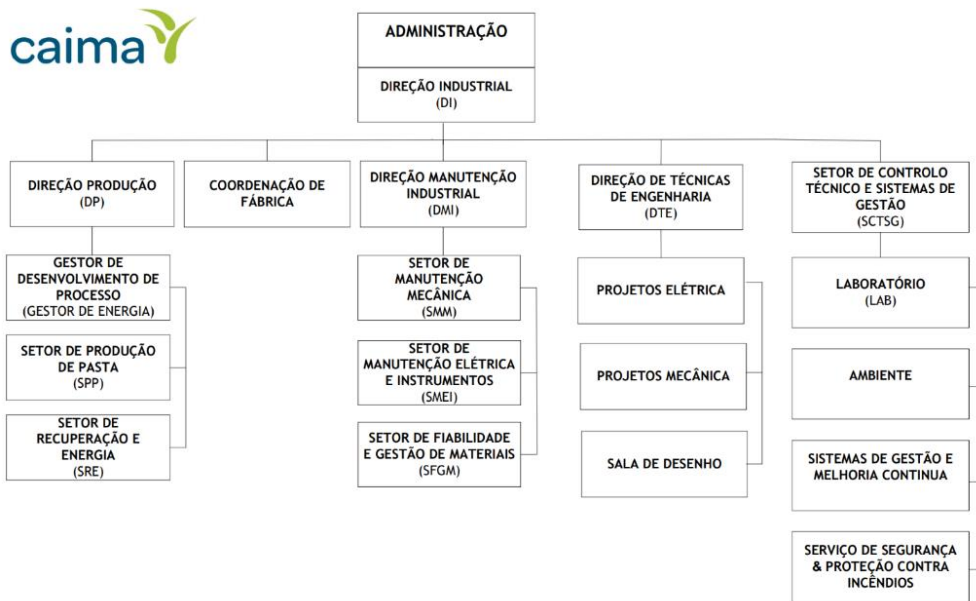


Figura 8 – Organograma da Caima S.A. (Caima - Manual de Integração, 2024)

3.1.1 Missão, visão estratégica e valores

3.1.1.1 Missão

A missão da Caima S.A., assenta principalmente na produção de pasta solúvel de máxima qualidade, com o objetivo de responder às necessidades existentes neste setor, em Portugal e ao longo do mundo. Estas necessidades são colmatadas, tendo em conta soluções inovadoras e competitivas (Caima - Relatório de Gestão Integrado, 2023).

Ainda como missão, a Caima S.A. pretende gerar a maior quantidade de energia possível, tendo em conta questões ambientais e de sustentabilidade, respeitando sempre as normas às quais é certificada (Caima, 2024).

3.1.1.2 Visão estratégica

A Caima S.A. pretende demonstrar a máxima eficiência na produção de fibras de eucalipto, a partir de uma gestão florestal sustentável (Caima, 2024).

Assim encontram-se enumerados vários objetivos, que têm por base uma visão estratégica, enaltecendo o processo da organização (Altri, 2024):

- Implementação de processos de melhoria contínua no desempenho ambiental;
- Diminuição da pegada ecológica;
- Aumento da eficiência operacional das unidades industriais.

3.1.1.3 Valores

A Caima S.A., tal como as restantes empresas do grupo Altri, rege-se por 4 pilares fundamentais, que constituem ao mesmo tempo, os seus valores (Caima - Relatório de Gestão Integrado, 2023):

- Excelência – Pretende digitalizar, inovar e crescer, promover a máxima de dar o melhor de cada um e fomentar o trabalho de equipa.
- Simplicidade – Ao fazer escolhas claras e consistentes. Executar com rapidez e pragmatismo, mantendo o foco no importante.
- Coragem – A partir da luta para alcançar objetivos inspiradores e ambiciosos. Tomar a iniciativa e aprender com os erros, vendo a mudança como uma oportunidade.
- Integridade – Agir sempre com respeito e integridade, aceitando a diversidade e inclusão. Defender e promover a ética.

3.1.2 Certificações

A Caima, S.A. iniciou o processo de certificação em 1995, pela norma NP EN ISO 9001-Sistema de Gestão da Qualidade. Assim, nos anos seguintes, entre 2003 e 2023, houve uma massiva obtenção de acreditações e certificações em diversos setores da empresa, tal como se pode comprovar pela Figura 9 (Caima, 2024). Atualmente, no que diz respeito à qualidade, a Caima é certificada pela NP ISO 9001:2015 (anexo 1).



Figura 9 – Linha cronológica de acreditações e certificações da Caima S.A. (Caima, 2024)

3.2 Descrição do Processo Produtivo

Neste subcapítulo, será apresentado o Processo Produtivo, que se inicia com a recepção da madeira e que ao longo das várias etapas, irá estar exposta a transformações químicas e físicas, tal como se pode observar no fluxograma representado na Figura 10.

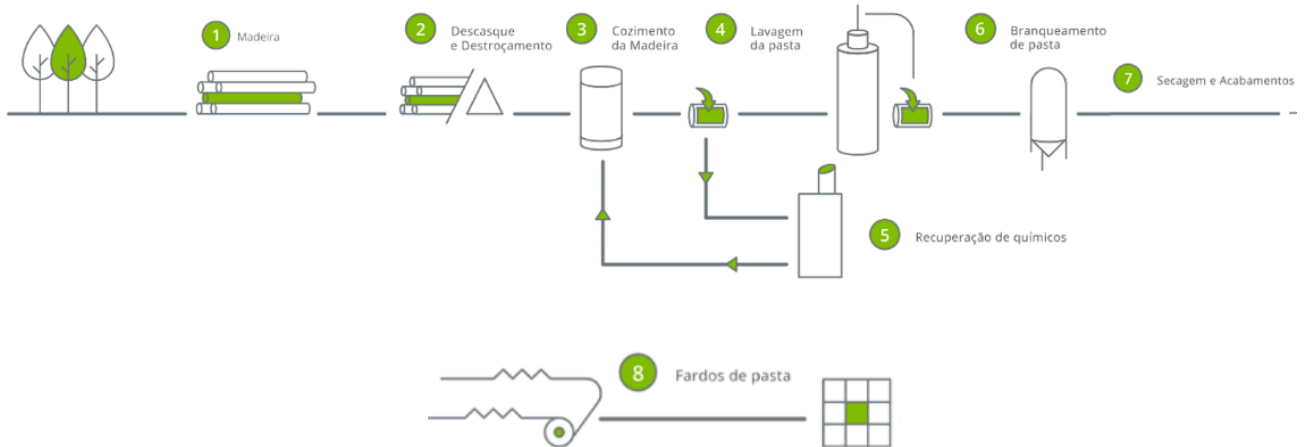


Figura 10 – Fluxograma do processo (Caima, 2024)

3.2.1 Matéria-prima

A madeira que chega à Caima é no seu todo proveniente de florestas plantadas e geridas, tendo em conta fatores rigorosos de responsabilidade ambiental e de sustentabilidade, sendo a mesma certificada pela FSC (*Forest Stewardship Council*). Este trabalho está entregue à Altri Florestal, sendo a maioria das árvores, produzidas nos viveiros da mesma (Altri, 2024).

3.2.2 Receção e Processamento da matéria-prima

O processo inicia-se com a receção de madeira de eucalipto (*eucalyptus globulus*), que pode chegar em forma de troncos com e sem casca ou estilha, todas ilustradas na Figura 11. Em 2023, 96,03% era de madeira com casca e 3,97%, tratava-se de madeira descascada em toros (Caima - Declaração Ambiental de 2023, 2024).



Figura 11 – Formas de entrada de madeira na fábrica: a) Troncos com casca; b) Troncos sem casca; c) Estilha

Toda a matéria-prima é devidamente inspecionada, tendo em conta especificações impostas pela empresa (Caima - IO (Instrução de Operação) Preparação de madeira, 2024):

- Madeira apenas de *eucalyptus globulus*;
- Toros com comprimento entre 2,0 e 2,5m e diâmetro compreendido entre 5 e 45cm medidos sob a casca;
- Flecha máxima ser inferior a 10cm.

Para além destes requisitos, é também determinada a densidade da madeira, que é calculada tendo em conta o peso da madeira no ar e da mesma mergulhada em água (Princípio de Arquimedes).

A linha de preparação da madeira, inicia-se com a madeira com casca, aqui os toros são alinhados e descascados. Seguidamente, dá-se o corte dos toros em estilha, sendo o tamanho da mesma bastante relevante para a qualidade da pasta, tal como se pode comprovar através da Tabela 4 (Caima - IO Preparação de madeira, 2024).

Tabela 4: Consequências do tamanho da estilha no processo (Caima - IO Preparação de madeira, 2024)

Estilha de tamanho inferior	Estilha de tamanho superior
<ul style="list-style-type: none"> • Maior degradação das fibras de celulose; • Maior quantidade de madeira transformada em serradura; • Menor duração das lâminas; • Menor capacidade do destroçador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior número de incozidos na etapa do cozimento. • Maior dificuldade de descarga; • Menor empacotamento no digestor, que representa menos pasta por cozimento.

Após o destroçamento, as aparas são crivadas, para serem separadas consoante a sua dimensão. A serradura é então enviada para um silo, de modo a ser valorizada posteriormente, enquanto, as de maior tamanho, retornam ao destroçador. Todo este processo encontra-se representado na Figura 12 (Caima - IO Preparação de madeira, 2024).

Para além disto, a casca é ainda transformada em biomassa, que é utilizada no sistema de produção de energia (Caima - IO Preparação de madeira, 2024).

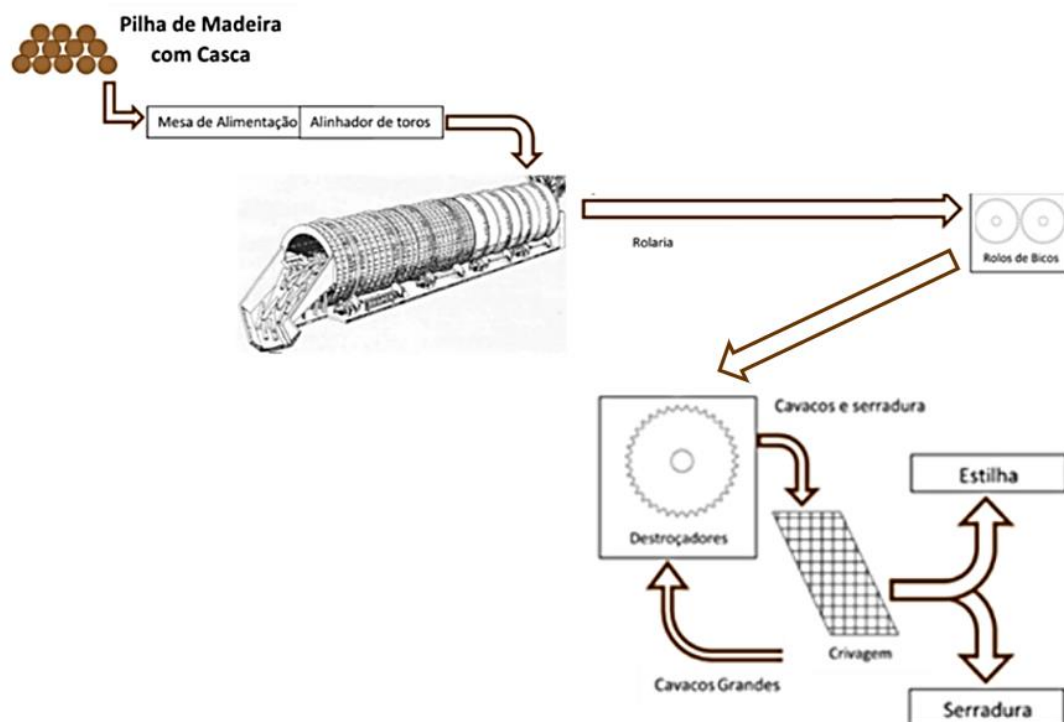


Figura 12 – Fluxograma da preparação da madeira (Santos e Peres, 2017)

3.2.3 Preparação do ácido de cozimento

Nesta etapa pretende-se preparar o agente de cozimento, o bissulfito de magnésio ($Mg(HSO_3)_2$). Este tem na sua constituição, dióxido de enxofre (SO_2), óxido de magnésio (MgO) e água (H_2O) (Caima - IO Preparação do ácido, 2024).

O dióxido de enxofre resulta da queima de enxofre líquido, a $1300\text{ }^\circ\text{C}$ e da lavagem dos gases da caldeira de recuperação. Enquanto, o óxido de magnésio, advém da reutilização das cinzas da caldeira de recuperação e da utilização de óxido de magnésio comprado no exterior. Este é posteriormente diluído com água e enviado para a caldeira de recuperação (Caima - IO Preparação do ácido, 2024).

O ácido proveniente do sistema de recuperação de químicos passará por várias etapas, até ser fortificado com dióxido de enxofre. Neste momento, o ácido bissulfito de magnésio ($Mg(HSO_3)_2$), encontra-se pronto para ser utilizado nos digestores para a dissolução da lenhina (Caima - IO Preparação do ácido, 2024).

3.2.4 Cozimento

O cozimento da madeira tem como principal objetivo, dissolver a lenhina, para separar a celulose, quebrar as suas cadeias sem a degradar e remover parte das hemiceluloses.

Trata-se então, de um processo termoquímico, realizado em seis digestores contínuos, a temperatura e pressão elevadas, tendo por base uma sequência de várias etapas (Caima - IO Digestores, 2024), representadas na Figura 13:

1. Enchimento da estilha ao digestor.
2. Enchimento do ácido, removendo todo o ar existente dentro do digestor, graças à recirculação do ácido pelo topo do digestor.
3. Aquecimento, feito de uma forma indireta por vapor a baixa pressão (4 bar), através de permutadores de calor, alcançando entre 90 e 115 °C, durante 60 ou 75 minutos.
4. Impregnação, onde ocorre uma extração de ácido para o tanque, para acerto do rácio licor/ madeira. De seguida, dá-se o aquecimento rápido com vapor de média pressão (8 bar), atingindo um valor entre 140 e 145 °C.
5. Cozimento Vapor Fechado, sendo o cozimento a sulfito, isotérmico, não é realizado nenhum aquecimento durante esta fase e a pressão a que está sujeito é de 7,7 bar.
6. Terminado o ciclo de cozimento que tem uma duração de aproximadamente 10 horas, existem ainda as 3 fases de descarga, degaseificação de alta pressão, degaseificação de baixa pressão e a descarga da pasta para o *Blow-Tank*.

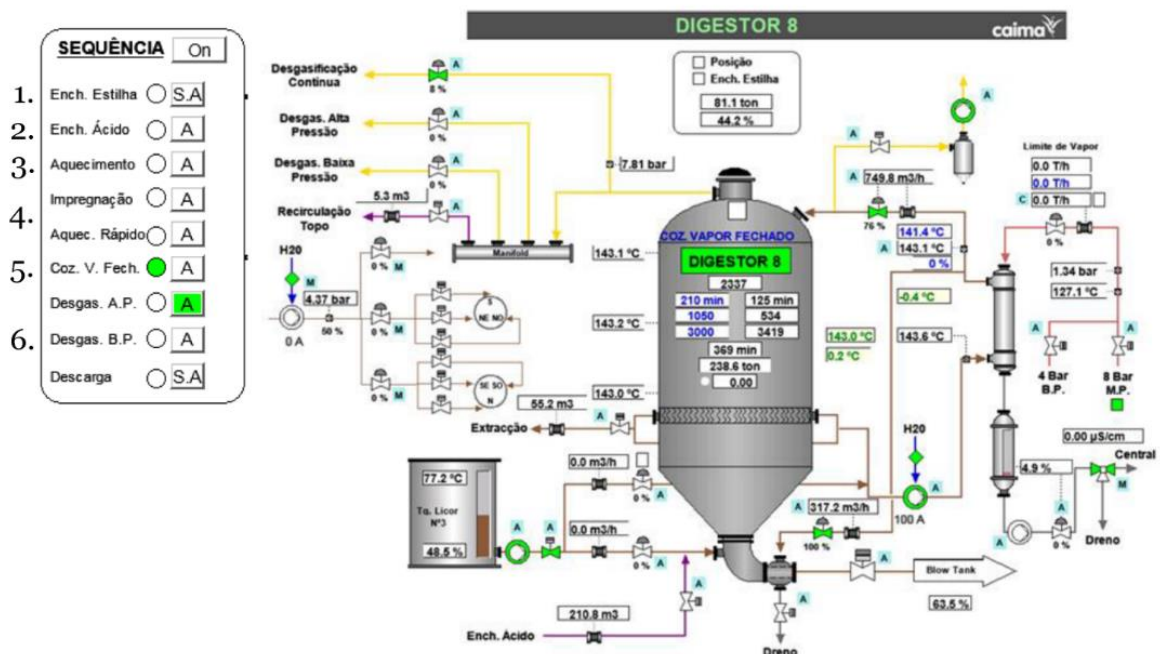


Figura 13 – Esquema do processo de cozimento bissulfito (Santos e Peres, 2017)

3.2.5 Lavagem

Após o cozimento, ocorre a etapa da lavagem, na qual, é alimentada água ao último de quatro lavadores que funcionam em contracorrente (fluido de lavagem-pasta), para que sejam removidos os compostos químicos indesejados provenientes do cozimento, como a lenhina e as hemiceluloses (Caima - IO Lavagem, 2024).

Para além disso, é ainda realizada uma depuração da pasta, para eliminar partes da madeira que se encontrem mal cozidas ou outros contaminantes, como areias. Assim, tudo aquilo que se removeu, passa para o fluido de lavagem, o licor fraco. Este será enviado para a área de recuperação, para que se aproveitar os químicos, nele presentes e gerar energia (Caima - IO Lavagem, 2024).

3.2.6 Branqueamento

O branqueamento resulta de quatro estágios (Caima - IO Branqueamento, 2024):

1. Estágio E, uma extração alcalina, que consiste numa reação da pasta com hidróxido de sódio a mais de 100 °C, com o objetivo de purificar a pasta, removendo as hemiceluloses presentes na mesma e solubilizando o material orgânico proveniente da madeira (*pitch*).
2. Estágio O, estágio de oxigénio, onde ocorre a remoção da lenhina que ainda permanece na pasta.
3. Estágio P, estágio de peróxido de hidrogénio, no qual se irá alcançar a brancura pretendida e se efetua o controlo de viscosidade.
4. Estágio A, estágio ácido, que tem como propósito, a remoção do cálcio da pasta.

Os filtrados resultantes deste processo são encaminhados para a ETARI, sendo que os três primeiros estágios (alcalinos) funcionam em contracorrente, gerando uma única corrente de filtrado e o estágio A, sendo ácido, funciona isolado, gerando outra corrente (Caima - IO Branqueamento, 2024).

3.2.7 Secagem

A secagem é a etapa, que apresentará a explicação do processo mais detalhada, por se tratar da secção em estudo deste trabalho.

A secagem da pasta pode ser dividida em 3 etapas (Caima - IO Secagem, 2024):

1. Sistema de aproximação de fluxo e depuração;
2. Formação de folha e máquina;
3. Secaria e cortadeira.

3.2.7.1 Sistema de aproximação de fluxo e depuração

Este processo inicia-se na torre de pasta branca, que recebe a pasta com uma consistência de 11-12%. Antes de entrar na próxima etapa esta consistência é corrigida através de diluições realizadas, inicialmente, à mistura no interior da torre (a qual se mantém homogênea através da utilização de um agitador) e, posteriormente, à saída da mesma para um ajuste final de $\pm 3,3\%$. Seguidamente, inicia-se a depuração da pasta para remover algumas impurezas. O processo inicia no *sorter*, onde se dá a clivagem. A parte aceite vai diretamente para o tanque de pasta 4. Enquanto, o rejeitado é encaminhado para os hidrociclones, onde ocorre a depuração. Dos hidrociclones segue para o espessador, de modo a corrigir a consistência para aproximadamente 7%, tal como se pode observar na Figura 14 (Caima - IO Secagem, 2024).

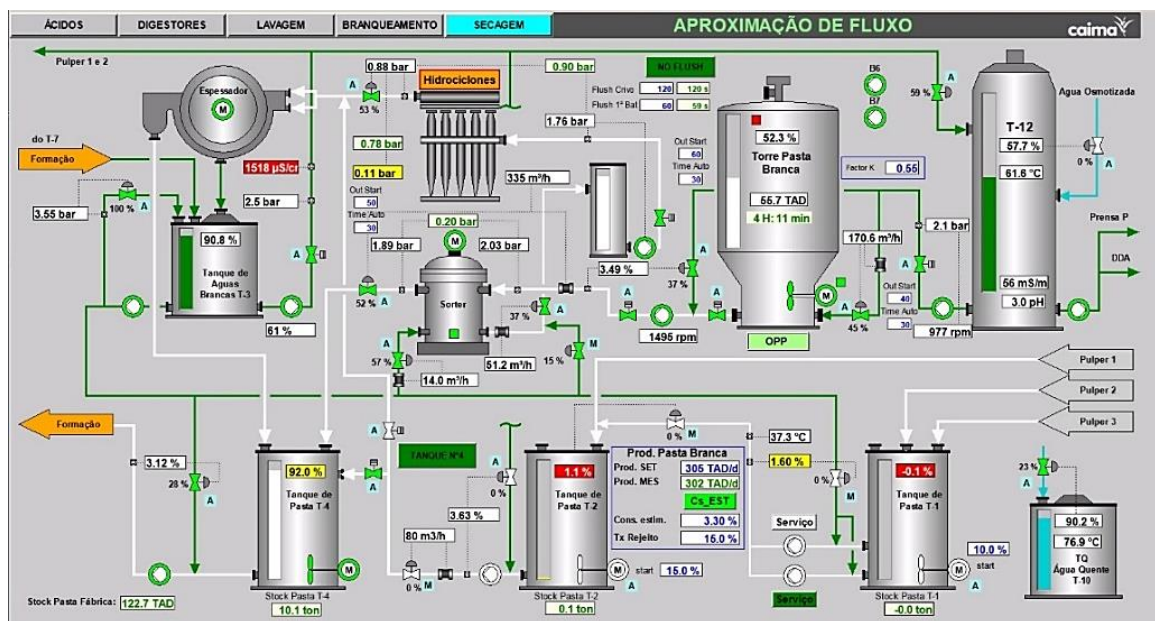


Figura 14 – Aproximação de fluxo (DCS® - Distributed Control Systems, Honeywell)

3.2.7.2 Formação de folha e máquina

Logo de seguida e representada na Figura 15, a pasta passa para a caixa de nível constante (consistência de 3,4%). Seguindo para o tanque T5, onde se corrige a consistência para 1,8%, aproximadamente, para começar a alimentar a máquina. A formação da folha inicia-se com a entrada no *tetraformer* e após alcançar a prensa seca, a pasta apresenta

uma consistência de 28-30%. No que diz respeito à 1ª prensa, aqui a folha contém 42 a 44% de fibra (Caima - IO Secagem, 2024).

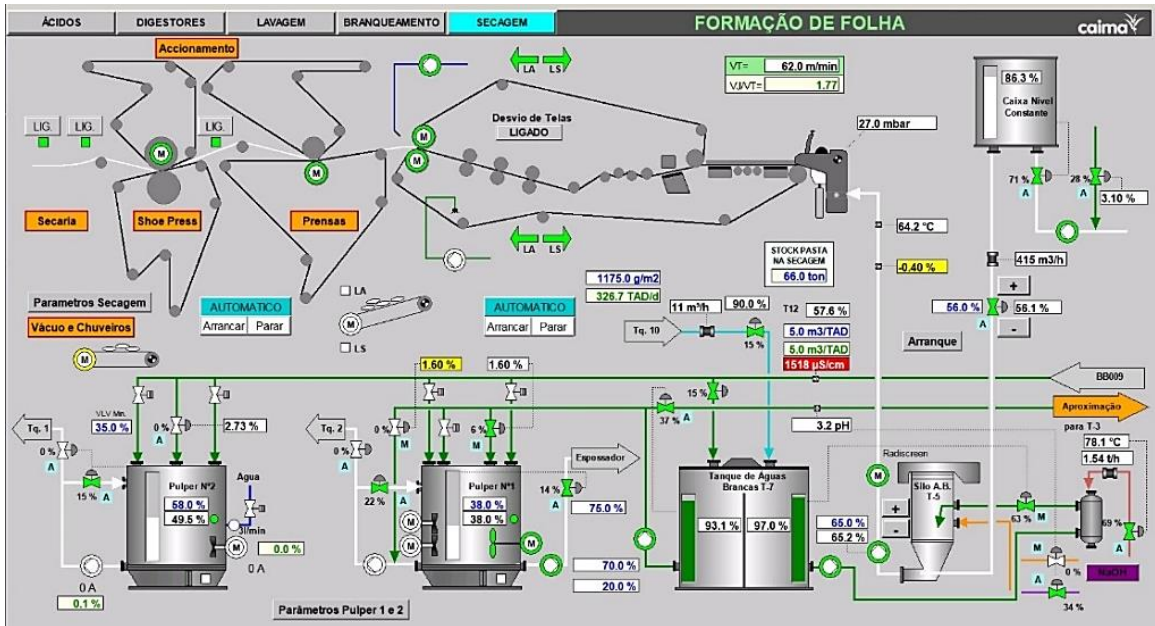


Figura 15 – Formação de folha (DCS®, Honeywell)

3.2.7.3 Secaria e cortadeira

À entrada da secaria, a folha contém ainda 57-58% de fibra e tem um longo percurso até alcançar o esperado no seu final, 90% de fibra (Figura 16) (Caima - IO Secagem, 2024).

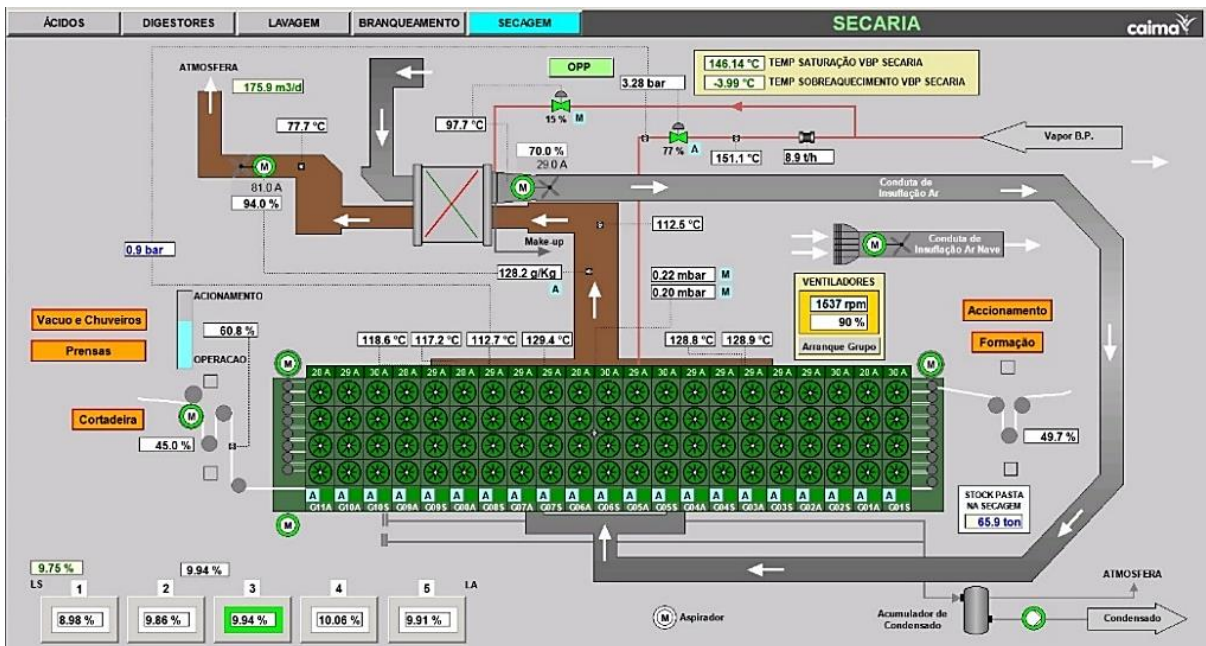


Figura 16 – Secaria (DCS®, Honeywell)

Terminado o processo de secagem, a folha segue para a cortadeira, onde é dividida em 5 fardos com folhas de dimensão, 60 x 80cm (Figura 17). Neste momento, a pasta está pronta para iniciar a etapa final, a de embalagem (Caima - IO Secagem, 2024; Caima – IO Linha de embalagem, 2024).

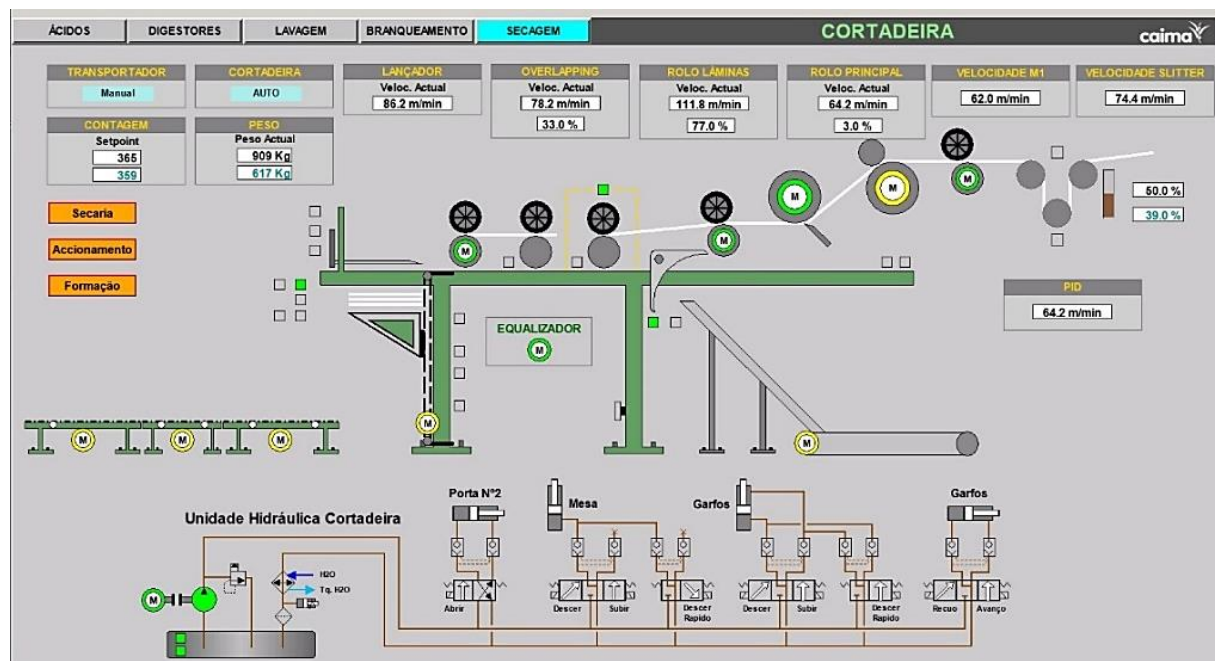


Figura 17 – Cortadeira (DCS, Honeywell)

3.2.8 Linha de Embalagem

Após ser cortada a folha e serem formados os cinco fardos, é necessário embalar-los, todo este processo é automático. É realizado um controlo de qualidade final da pasta, onde são medidos em linha vários parâmetros. Esta medição em linha é validada periodicamente através de amostras analisadas em laboratório, que se encontram representadas na Tabela 5 (Caima - IO Linha de embalagem, 2024).

Tabela 5: Medição de parâmetros da pasta

Parâmetro	Medição em linha	Técnica de validação em laboratório
Brancura	DCD (<i>Dirt Count Analyzer</i>)	Validação em <i>Elrepho</i>
Sujidade	DCD	Determinação da sujidade na pasta (NP EN ISO 5350-2)
Humidade	Forté	Teor de matéria seca na pasta (NP EN 20638)

3.2.8.1 Caracterização da pasta

A qualidade da pasta é avaliada tendo em conta vários parâmetros, que vão para além daqueles que são medidos em linha.

A Caima S.A. produz como produto base a pasta Caima 92, na qual será centrado este estudo, fazendo, no entanto, alguns ajustes à especificação deste produto a pedido do cliente. Assim, para a Caima 92, os valores de qualidade definidos nas especificações são os da Tabela 6 (PGQ - Procedimento de Gestão de Qualidade de Amostragem e classificação da pasta).

Tabela 6: Parâmetros de caracterização da pasta Caima 92 (Caima- PGQ de Amostragem e classificação da pasta, 2024)

Sujidade (mm ² /kg)	Brancura (%)	Viscosidade (mL/g)	Teor de cálcio (mg/kg)	Teor de cinzas (%)	Índice kappa	Humidade (%)	Gramagem (g/m ²)
≤30	≥91	490≥μ≤550	≤120	≤120	≤0,10	≤10,5	1100

3.2.9 Direção de Manutenção Industrial

A Direção de Manutenção Industrial não está diretamente ligada ao processo de produção de pasta, no entanto é um serviço auxiliar essencial para o bom funcionamento de toda a fábrica. Esta direção encontra-se dividida em três setores: manutenção mecânica, manutenção elétrica e de equipamentos e setor de fiabilidade e Gestão de Materiais. Assim, são efetuadas várias atividades, como (Caima - PGQ 50.02 – Sistema de Gestão da Manutenção, 2024):

- Mudança de óleos usados;
- Gestão de Resíduos;
- Garantir o bom estado dos vários equipamentos, desde o alerta e reparação de fugas, alerta para o ruído emitido, atenção aos derrames e caso ocorram, proceder de imediato à sua limpeza;
- Rotinas preventivas diversas.

Capítulo 4

Apresentação e discussão de resultados

No quarto capítulo deste relatório surgem os resultados obtidos durante o trabalho de investigação desenvolvido e a organização e análise estatística destes dados, de modo que estes possam ser mais facilmente discutidos.

4.1 Caso de estudo

A secagem é uma etapa fundamental no que diz respeito à qualidade do produto final, a pasta solúvel e tal como foi referido anteriormente, esta deve cumprir certos requisitos impostos pelo cliente. Neste momento, a empresa possui alguma variabilidade nos resultados obtidos, por esse motivo neste trabalho serão analisados vários parâmetros, de modo a encontrar soluções para os problemas detetados.

A humidade será um dos pontos principais deste estudo, analisando-se a mesma através da comparação entre os resultados obtidos em laboratório e o valor do equipamento Forté. Para além disso, proceder-se-á também ao desenho de gráficos, que possibilitem encontrar correlações entre a gramagem, a humidade da folha e algumas variáveis da máquina.

De modo a alcançar as melhores conclusões, será importante avaliar a posição do fardo, representada na Tabela 7. O histórico de resultados comprova diferenças evidentes nos valores de humidade, consoante o lugar do fardo na máquina.

Tabela 7: Representação da posição de cada fardo

Lado serviço (LS)				Lado acionamento (LA)
Fardo 1	Fardo 2	Fardo 3	Fardo 4	Fardo 5

4.2 Descrição das atividades desenvolvidas

4.2.1 Análise da gramagem de base húmida

A gramagem na Caima S.A. é analisada por base seca e por base húmida. No entanto, para este trabalho, apenas terei em conta, a de base húmida, uma vez que é aquela que o

laboratório da empresa faz com maior regularidade e esses resultados são tidos em conta para posteriores alterações.

A gramagem de base húmida, consiste num método básico de pesagem da folha de pasta, logo após a saída da cortadeira. Para alcançar o valor pretendido, procede-se ao seguinte cálculo, usando a equação 1:

$$\text{Gramagem} = \frac{m \text{ (massa) folha}}{\text{Área da folha}} [\text{g/m}^2] \quad \text{Eq. 1}$$

4.2.2 Humidade

4.2.2.1 Sistema Forté

O Sistema Forté permite a medição instantânea e precisa da humidade. Para isso, recolhe 3 leituras (*Forté Technology Inc., 2007*):

- Leitura do peso do fardo;
- Leitura superior, consiste na leitura do oscilador de frequência, no momento em que o feixe de luz superior da unidade de foto-controlo é interrompido, enquanto o fardo está a ser pressionado pela prensa;
- Leitura inferior, consiste na mesma leitura que a superior, mas ocorre, relativamente ao feixe de luz inferior da unidade de foto-controlo.

A diferença entre as duas últimas leituras, dão origem ao “Número Forté”, que, por conseguinte, resulta o teor de humidade do fardo.

4.2.2.2 Validação em estufa

Com o objetivo de validar os valores obtidos a partir do equipamento Forté é efetuado o seguinte ensaio, em duplicado, para garantir uma elevada precisão nas conclusões retiradas. Deste modo, usou-se o procedimento seguinte e determinou-se a humidade de validação através da equação 2:

- Retira-se um pedaço de cada folha a ser analisada e pesa-se;
- Este pedaço vai à estufa, durante 3 horas;
- Após esse período, retira-se da estufa e pesa-se o pedaço de imediato, com a ajuda de uma pinça.

$$\text{Humidade (validação)} = 100 - \left(\frac{m \text{ amostra seca}}{m \text{ amostra inicial}} * 100 \right) [\%] \quad \text{Eq.2}$$

4.2.2.3 Método da balança rápida

O Método da balança rápida, consiste no ensaio mais simples e rápido para medir a humidade. Neste, coloca-se o pedaço da pasta na balança, que procede a um aquecimento em segundos e que dá de imediato, o valor da humidade correspondente.

4.2.3 Consistência

No que diz respeito à consistência da fibra, o ensaio será efetuado às duas tiras que são eliminadas, seguidas ao bico de corte, tanto no lado de acionamento, como no lado de serviço.

Estas amostras são retiradas pelos operadores, num frasco previamente pesado. No próximo passo, pesa-se novamente o frasco já com a amostra. Pesa-se também o filtro. Seguidamente, prepara-se a instalação com o kitasato e a bomba de vácuo e procede-se à filtração da amostra.

Assim filtrada, a amostra no filtro, será prensada e é colocada no secador de folhas. Retira-se e vai ao exsiccador, cerca de 15 a 20 minutos. Por fim, pesa-se mais uma vez e determina-se a consistência usando a equação 3.

$$\text{Consistência} = 100 - \left(\frac{m_{\text{amostra final}}}{m_{\text{amostra inicial}}} * 100 \right) [\%] \quad \text{Eq. 3}$$

4.3 Análise crítica das atividades desenvolvidas

Nesta secção deste capítulo serão analisados os gráficos realizados, dividindo-se em 5 subsecções:

- Humidade;
- Gramagem e peso do fardo;
- Relação entre humidade e gramagem;
- Correlações com variáveis processuais;
- Consistências.

4.3.1 Humidade

A humidade tal como foi abordado anteriormente, é medida em três métodos, Sistema Forté, validação em estufa e método da balança rápida. Neste trabalho foram realizadas oito análises de cada fardo em cada um dos procedimentos. Assim foram executados 3

gráficos de barras (Figuras 18 a 20) que representam as humidades por fardo pelas diferentes metodologias.

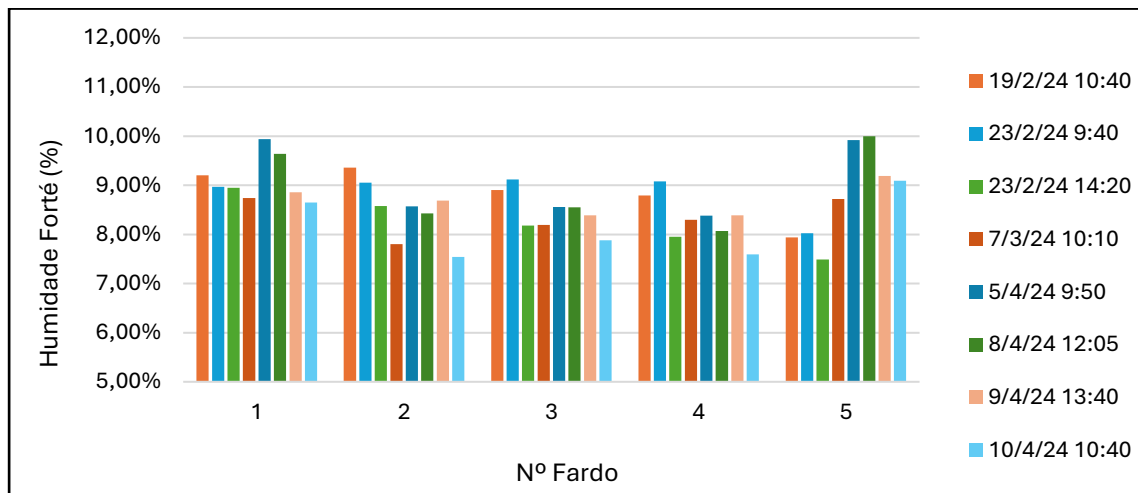


Figura 18 – Valores de humidade obtidos através do Sistema Forté, por fardo

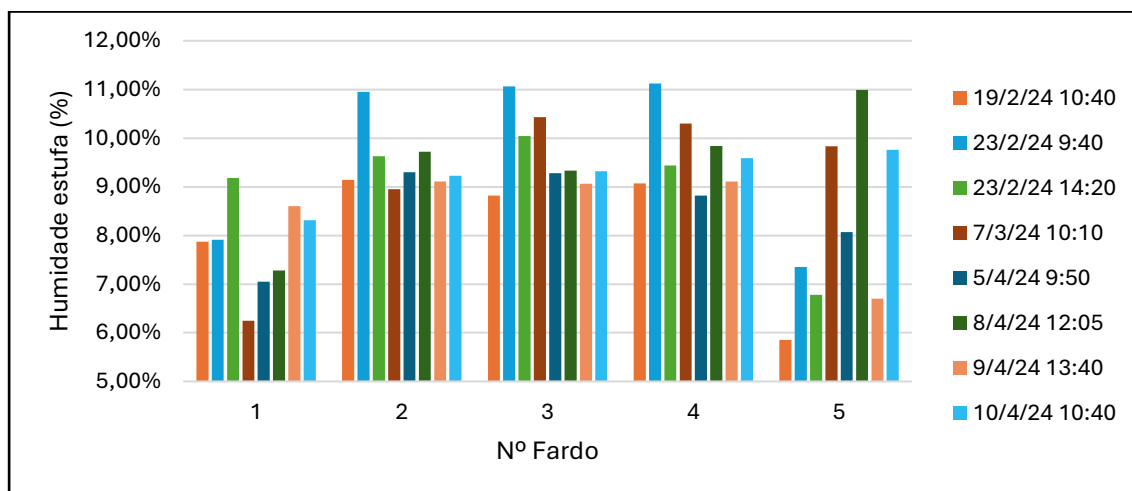


Figura 19 – Valores de humidade obtidos na estufa, por fardo

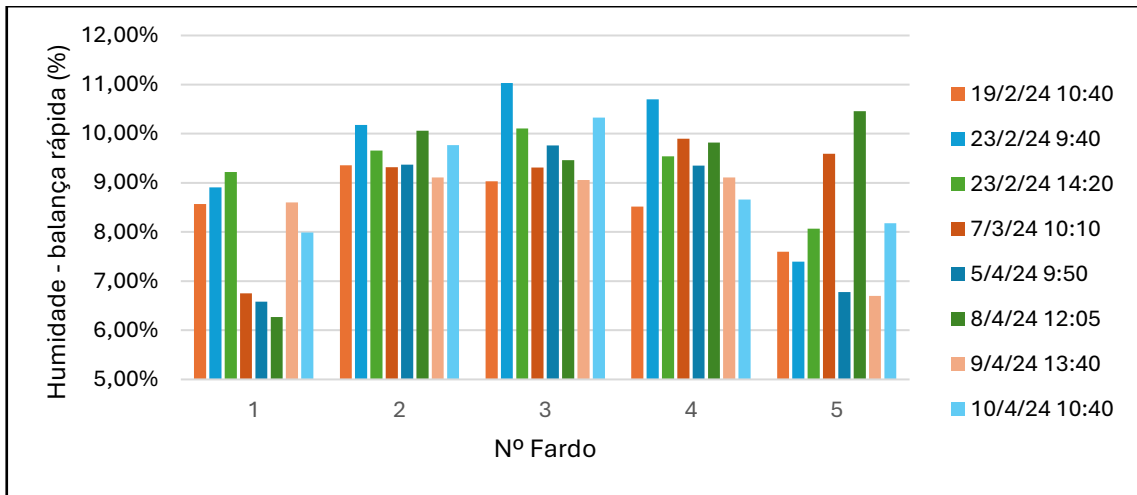


Figura 20 – Valores de humidade obtidos na balança rápida, por fardo

Através da Figura 18, onde estão representados os valores de humidade obtidos no Sistema Forté é possível constatar que existe uma maior estabilidade nos valores, graças à calibração da reta. Este sistema encontra-se calibrado apenas para um certo intervalo de valores de humidade, sendo que nunca apresenta valores inferiores a 7 ou superiores a 10%. Para além de ser um problema de classificação final da pasta, também o é, como valor de referência para os ajustes das condições processuais da secagem, como a velocidade da máquina, abertura de válvula de gramagem, vapor, entre outros.

Assim e tendo em conta que o método de validação em estufa é o método laboratorial para determinar o valor real de humidade, através da Figura 20 é possível verificar que o desvio associado à diferença entre este método e o valor obtido pelo Forté é bastante elevado, o que comprova que este sistema não está a medir corretamente as amostras.

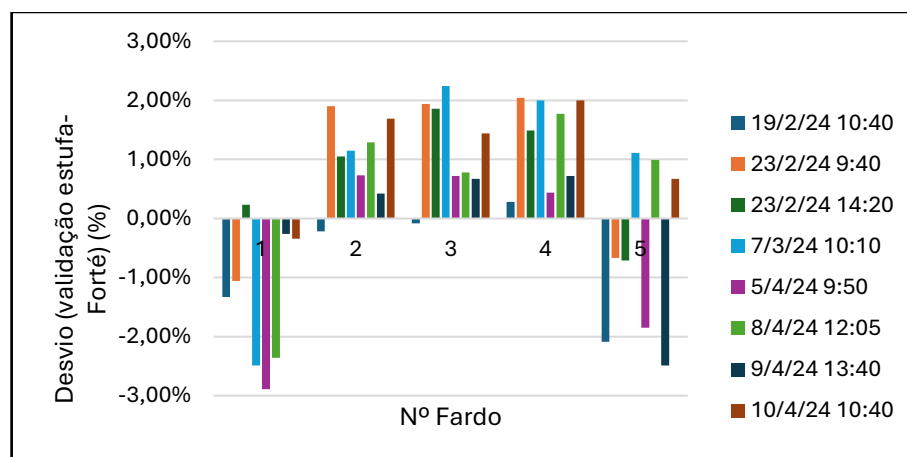


Figura 21 – Desvio entre humidade de estufa e Forté em cada fardo

De forma a validar os valores obtidos pelo Forté e após ter constado pelas figuras 21 e 22, que o desvio entre a estufa e a balança rápida é muito inferior comparado com o correspondente ao da estufa com o Forté, optou-se por utilizar os valores resultantes da balança rápida, para conseguir ter uma gama de dados mais ampliada para uma melhor análise estatística.

O método da balança rápida apresenta um erro médio de 6,25%, que é obtido a partir da função apresentada pela equação 4:

$$\text{Erro}_{\text{médio}} = (\Delta\text{Humidade}(\text{Validação estufa} - \text{Balança rápida})) / \text{Humidade}_{\text{validação estufa}} \quad \text{Eq.4}$$

Enquanto o sistema Forté tem um erro médio associado de 14,73%, obtido a partir da equação 5:

$$\text{Erro}_{\text{médio}} = (\Delta\text{Humidade}(\text{Validação estufa} - \text{Forté})) / \text{Humidade}_{\text{validação estufa}} \quad \text{Eq.5}$$

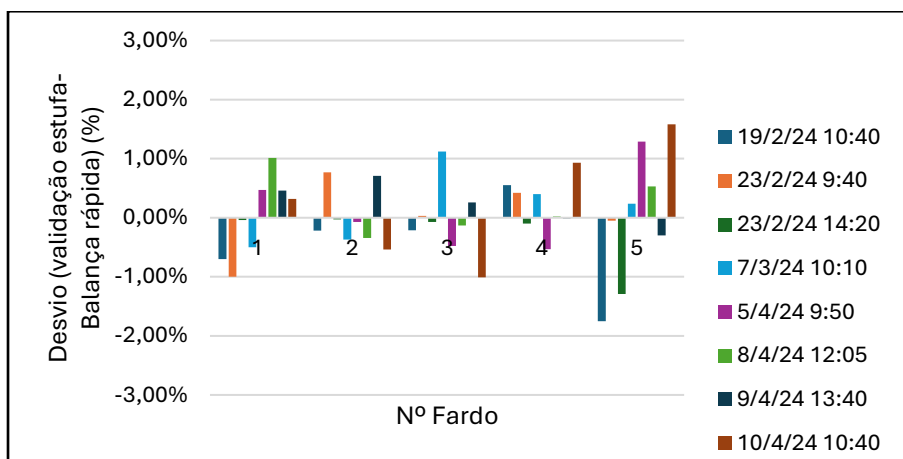


Figura 22 – Desvio entre humidade de estufa e balança rápida em cada fardo

4.3.2 Gramagem e peso do fardo

Tanto a gramagem, como o peso do fardo, são cruciais para uma análise mais concreta do caso de estudo. Assim, procedeu-se a gráficos de barras de gramagem e de peso do fardo, apresentados nas Figuras 23 e 24, respetivamente para os 5 fardos objeto de estudo.

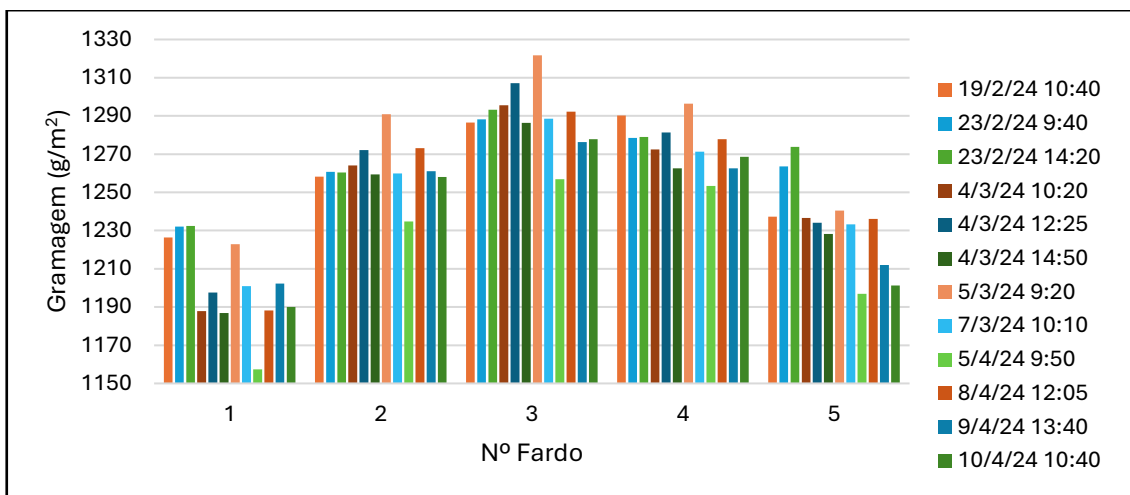


Figura 23 – Valores de gramagem por fardo

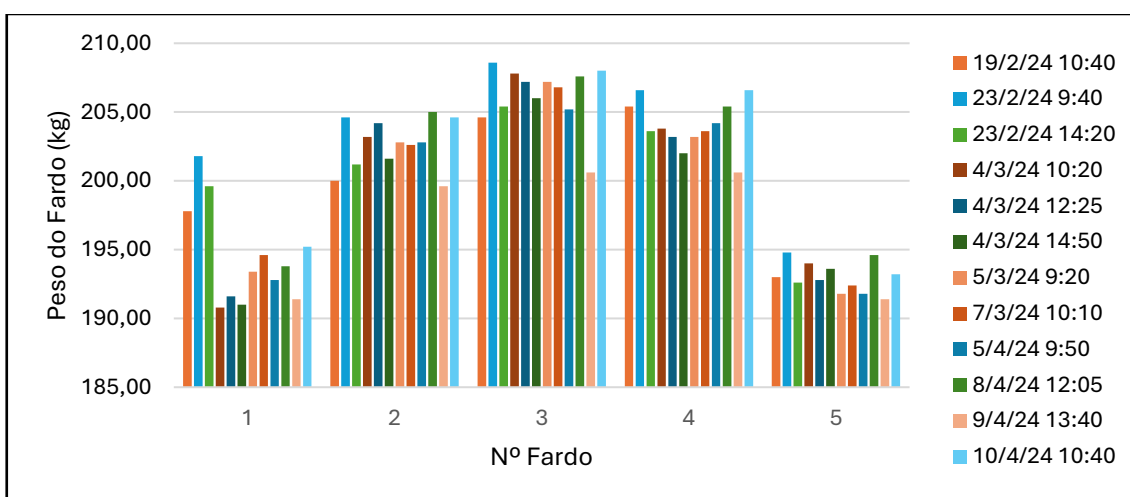


Figura 24 – Análise do peso do fardo, por fardo

Através das Figuras 23 e 24, é possível constatar que os fardos das pontas são aqueles que apresentam menor gramagem e conseqüentemente, menor peso, o que se conclui que existe claramente uma não uniformização da gramagem ao longo da largura da máquina de produção de pasta.

Nos anexos II e III encontram-se os gráficos de comparação das 3 humidades para cada um dos fardos relacionados com a gramagem e o peso dos fardos, respetivamente.

Apesar de não ter sido medido altura, é expectável que os fardos não cheguem ao equipamento, todos com a mesma altura mas seguindo um perfil idêntico ao observado nas gramagens e nos pesos. A altura poderá também influenciar a medida de humidade no Sistema Forté.

Além disso, na Caima, S.A como já foi abordado anteriormente, existem várias produções com dimensões de fardos diferentes (altura). Como estas podem alterar as medições de humidade, será importante a criação de diferentes retas de calibração para os diferentes tipos de produções de pasta.

4.3.3 Relação entre humidade e gramagem

Os valores dos parâmetros de humidade e gramagem não são uniformes ao longo da folha. Por esse motivo, foram elaborados gráficos de dispersão, de modo a relacionar estes dois parâmetros (Figura 25).

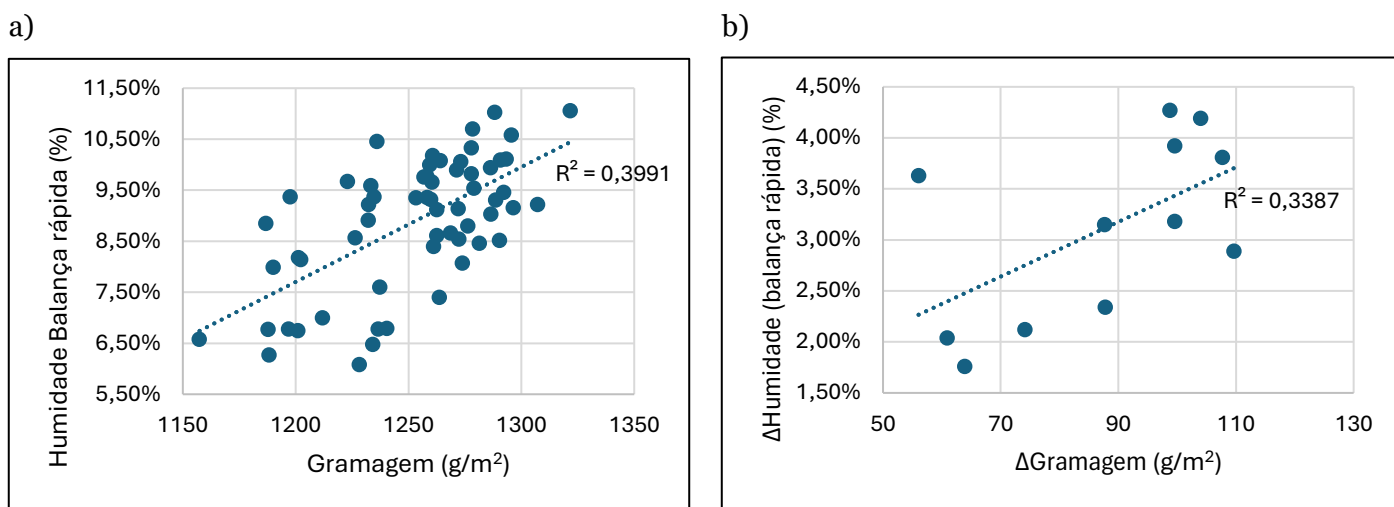


Figura 25 – a) Relação entre valores de humidade (balança rápida) e gramagem; b) Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e Δ Gramagem

Relativamente à relação entre a humidade da balança rápida e a gramagem ou entre os desvios da humidade e da gramagem, é verificada uma proporcionalidade direta, ou seja, quanto maiores os valores de humidade, maiores os valores de gramagem. Para além disso, quando o desvio de humidade entre os 5 fardos aumenta, verifica-se que o desvio de gramagem também é mais elevado.

Traçou-se também a Figura 26, no sentido de perceber se existe relação direta entre o desvio do Forté-validação em estufa e a gramagem.

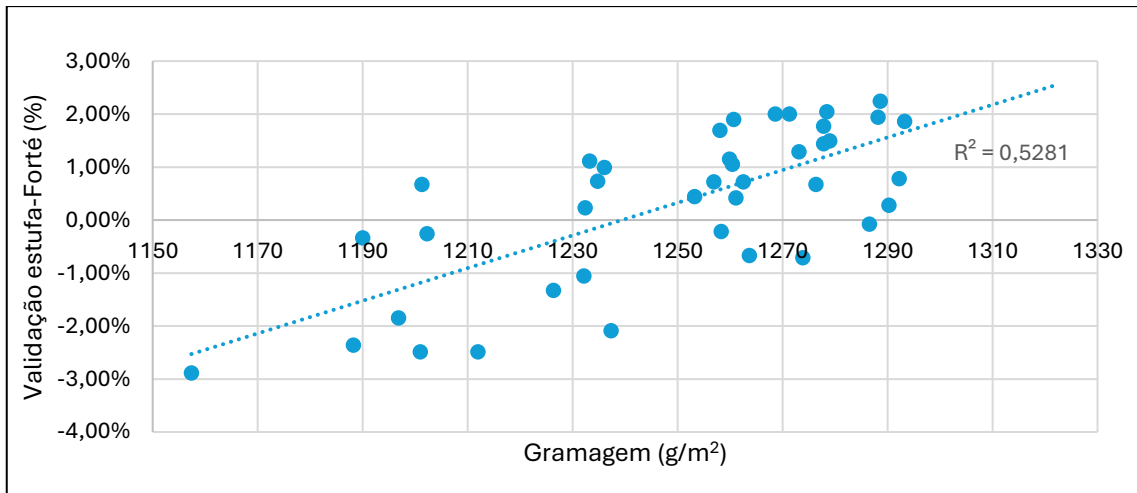


Figura 26 – Relação entre (Valor de humidade validação estufa-Valor de humidade Forté) e a Gramagem

Pelos resultados obtidos é possível constatar que gamas intermédias de gramagem apresentam menores desvios comparativamente a gramagens mais baixas e mais altas. Tal pode dever-se ao facto de a calibração do Sistema Forté ser realizada maioritariamente nessas gamas.

Assim quando existirem ajustes significativos no *setpoint* de gramagem será necessária nova calibração da reta Forté.

Apesar da gramagem ter impacto no valor medido pelo Forté, não se verificou uma correlação clara com o perfil de gramagem e humidade (Anexo IV).

4.3.4 Correlações com variáveis processuais

Com o objetivo de efetuar uma análise estatística mais profunda, foram analisadas as relações entre Δ Humidade (Balança rápida), Δ Gramagem e várias variáveis da máquina:

- Abertura da válvula de gramagem;
- Velocidade da máquina;
- Temperatura da caixa de chegada;
- pH;
- Consistência à entrada da mesa;
- Temperatura da secaria;
- Temperatura de vapor da secaria;

- Pressão da prensa seca;
- Pressão da prensa 1;
- Pressão das prensas húmidas;
- Caudal de vapor;
- Relação jato/tela ou jato/teia.

Estas são as variáveis que podem influenciar os valores de gramagem e/ou humidade, direta ou indiretamente.

Na indústria, um coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 0,2000 é considerado um valor aceitável.

Após a elaboração de todos os gráficos, constatou-se que apenas 5 variáveis da máquina apresentam correlações com Δ Humidade (Balança rápida) e Δ Gramagem nesta gama, tal como se pode observar na tabela 8: abertura da válvula de gramagem, velocidade da máquina, temperatura de vapor da secaria, caudal de vapor e relação jato/tela.

Foram também observadas correlações elevadas com as pressões das prensas, sendo que algumas das correlações estão influenciadas pela troca de telas, que ocorreu durante o estudo, e pela baixa variação no intervalo de valores. Assim, não foi possível encontrar o impacto nos desvios de humidade e gramagem provocados pelas pressões das prensas (Anexo V).

Tabela 8: Análise dos coeficientes de determinação relativamente às variáveis da máquina

Variável da máquina	R ² (Δ Humidade)	R ² (Δ Gramagem)
Abertura da válvula de gramagem	0,2369	0,4200
Velocidade da máquina	0,3842	0,5156
Temperatura da caixa de chegada	0,0925	0,0843
pH	0,0595	0,0556
Consistência à entrada da mesa	0,0580	0,0024
Temperatura da secaria	0,0255	0,1880
Temperatura de vapor da secaria	0,2233	0,1646
Caudal de vapor	0,2395	0,4463
Relação jato/ tela	0,4967	0,5454
Pressão prensa húmida 1 LS	0,1753	0,0054
Pressão prensa húmida 1 LA	0,3883	0,3855
Pressão prensa húmida 2 LS	0,1143	0,7003
Pressão prensa húmida 2 LA	0,0185	0,1011
Pressão prensa húmida 3 LS	0,2259	0,1507
Pressão prensa húmida 3 LA	0,0185	0,1011
Prensa 1 LS	0,1998	0,6113
Prensa 1 LA	0,1998	0,6113
Prensa seca LS	0,0628	0,2404
Prensa seca LA	0,0129	0,0028

Todas as variáveis processuais foram analisadas graficamente, tendo-se considerado para análise de impacto apenas as que possuíam maiores correlações (as restantes encontram-se no anexo VI).

Os gráficos representados nas Figuras 27 e 28, representam a relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem com a abertura da válvula de gramagem e a velocidade da máquina. Estes são bastante parecidos e acompanham-se um ao outro, traduzindo o ritmo da secção (maior ritmo para maiores aberturas de válvula de gramagem e velocidade de máquina). Em ambos, para maior ritmo, maior o desvio de humidade e o desvio de gramagem entre os 5 fardos.

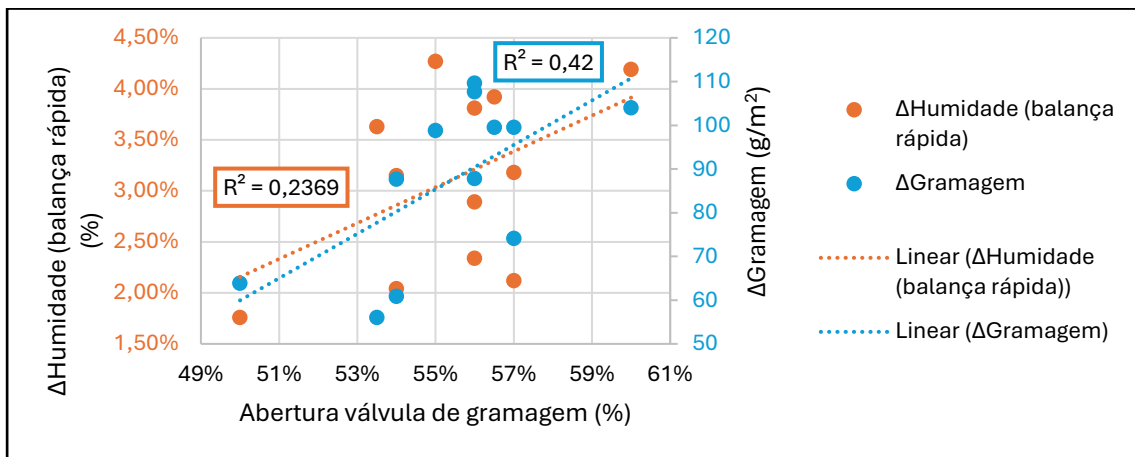


Figura 27 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e abertura válvula de gramagem

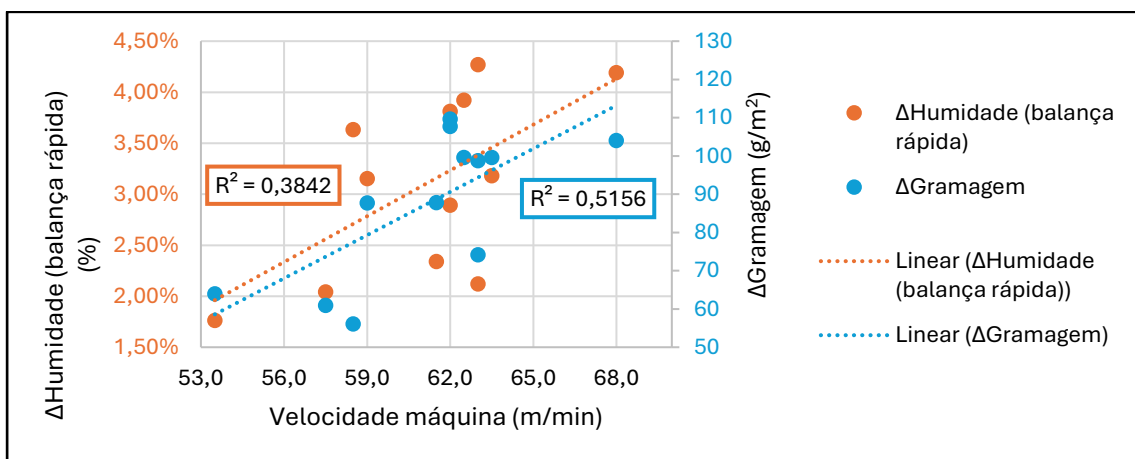


Figura 28 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e velocidade da máquina

A correlação observada estará relacionada ao facto de os tubos se encontrarem encravados, o que provoca um maior fluxo nos tubos desencravados. Esta assimetria provoca desde logo, uma diferença de gramagem ao longo da folha, assim é normal que o perfil da humidade também não seja constante. Para além disso, também o facto de estar menos tempo dentro da secaria, faz com que a pasta não fique tão seca.

O gráfico apresentado na figura 29, consiste na relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e o caudal de vapor descreve uma subida de valores de desvio de humidade e de gramagem, quando se aumenta o caudal de vapor. O caudal de vapor não tem ligação direta à gramagem. Este é alterado tendo em conta as humidades anteriores

medidas pelo Forté e assim pode constatar-se que este sistema não se encontra a medir corretamente, graças a problemas de gramagem.

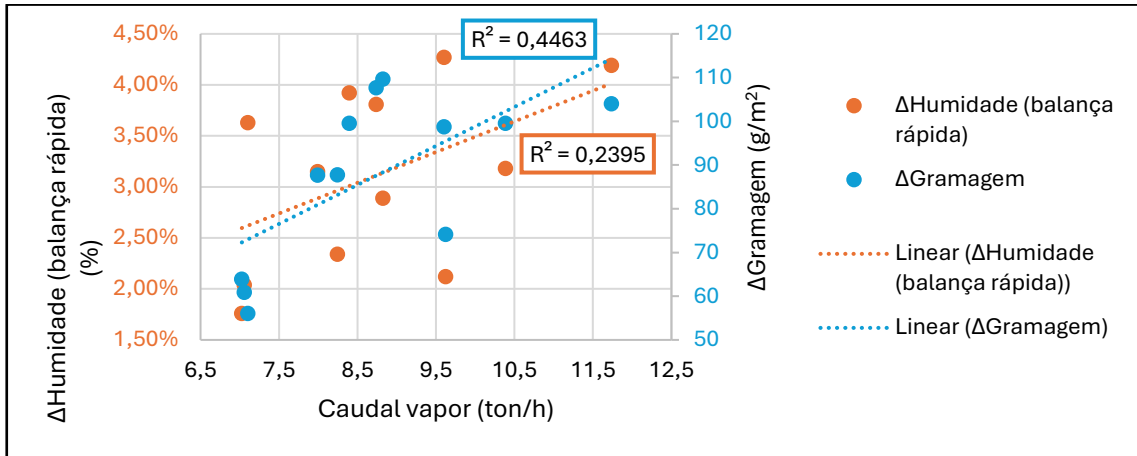


Figura 29 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e caudal de vapor

Verifica-se uma relação semelhante, no entanto simétrica, quando correlacionadas estas variáveis com a temperatura de vapor (Figura 30). Tal deve-se ao facto de vapor com maior temperatura permitir uma maior secagem da pasta com menores caudais.

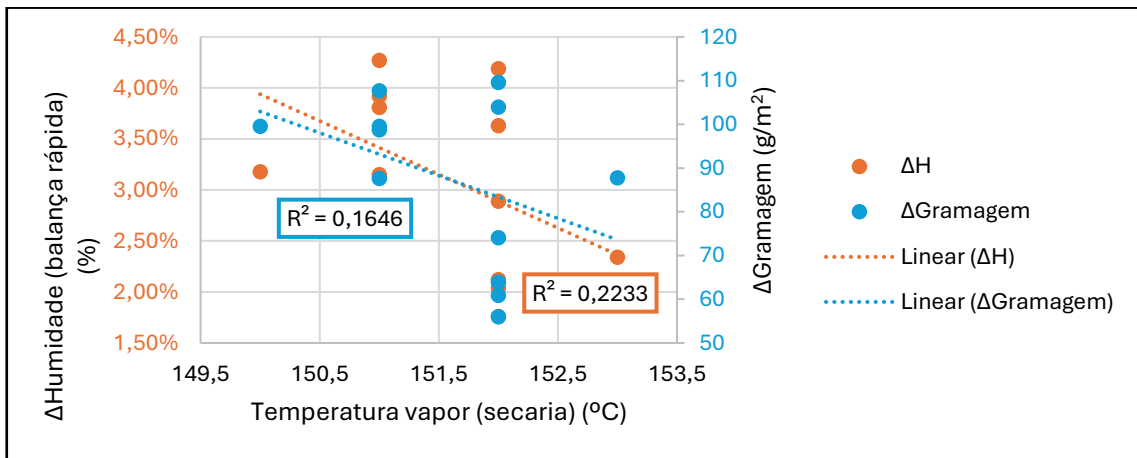


Figura 30 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e temperatura de vapor na secaria

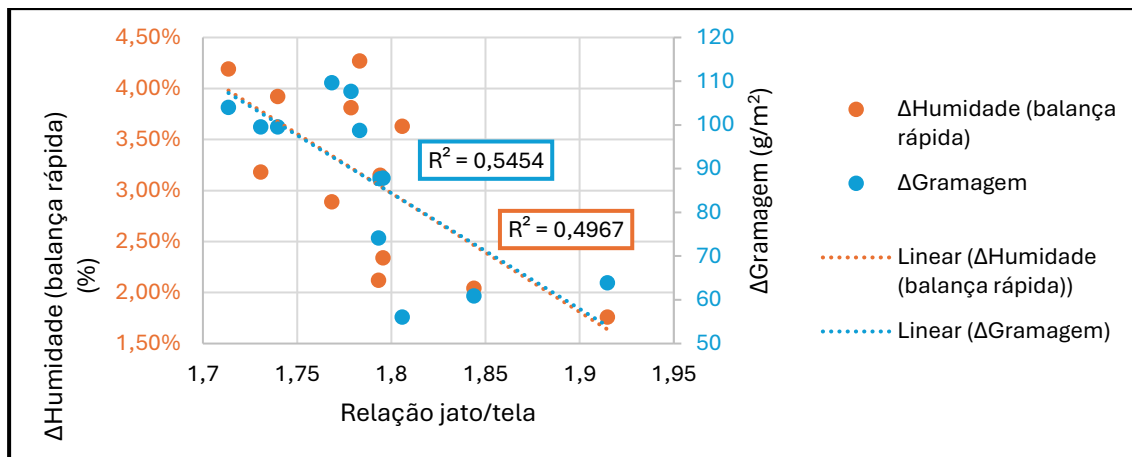


Figura 31 – Relação entre ΔHumidade (balança rápida), ΔGramagem e relação jato/tela

No que diz respeito à orientação das fibras, quanto mais próximo de 1, a relação jato/tela (Figura 31), significa que existe maior orientação das fibras. Quanto mais alto o valor, isto significa que a tela se encontra mais lenta que a entrada das fibras e por isso ficam menos ordenadas, podendo levar a maiores "aglomerados".

Se existirem aglomerados ao longo da folha, as etapas de drenagem e secagem podem ser afetadas.

4.3.5 Consistências

A consistência pretende detetar se a máquina, num determinado local, está a drenar a água que devia, de modo a obter um produto final, com a humidade pretendida. Assim, foram retiradas várias amostras dos rejeitos dos *trimmers* da máquina (delimitadores das dimensões da folha existentes nas laterais da mesa de formação da folha).

Na figura 32, onde estão representadas as consistências do lado de serviço e de acionamento, é possível observar que nas 2 amostras recolhidas no dia 23 de fevereiro, existia uma diferença considerável entre o lado de serviço e o lado de acionamento. A diferença observada devia-se ao facto de as telas se encontrarem em final de vida e estarem a ser mais pressionadas no lado de acionamento (Figura 33). Logo, é normal que a consistência seja maior, visto que estavam a drenar mais desse lado. Com a mudança das telas, os dias seguintes já apresentam uma maior aproximação de valores de consistências.

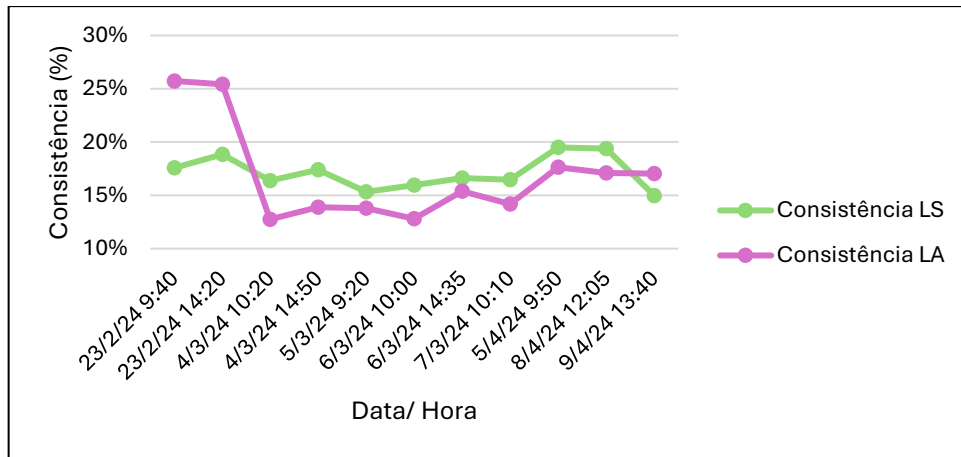


Figura 32 – Consistências dos rejeitos dos *trimmers* do lado de serviço (LS) e de acionamento (LA)

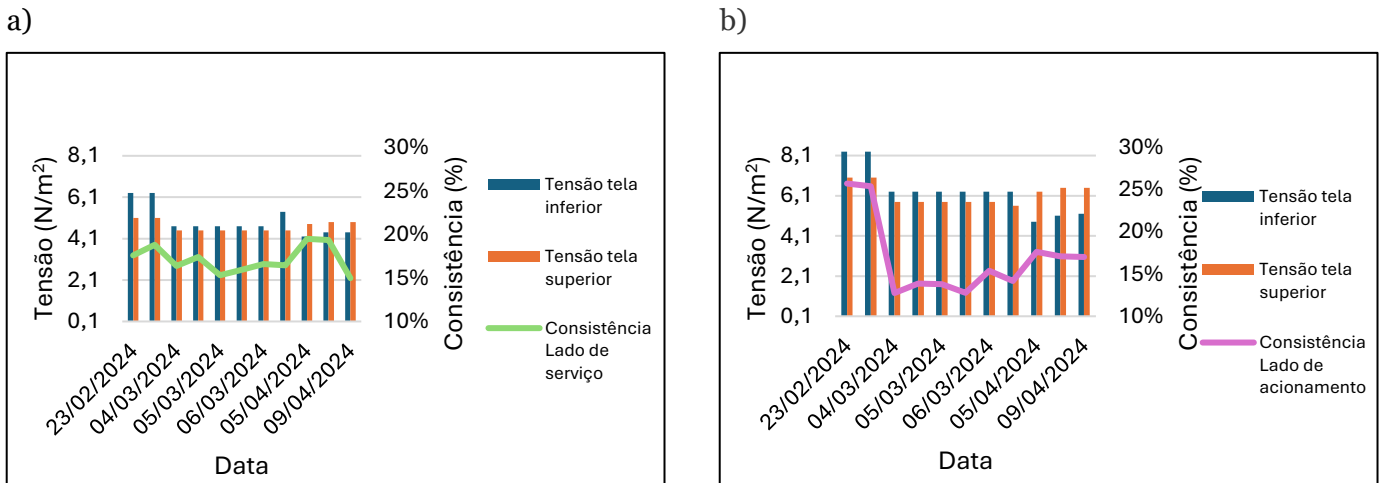


Figura 33 – a) Relação entre tensões e consistência do lado de serviço (LS); b) Relação entre tensões e consistência do lado de acionamento (LA)

Durante a recolha de dados foi também realizada uma paragem programada da instalação na qual foram realizados vários trabalhos de inspeção e manutenção de equipamentos.

Uma das inspeções realizadas teve o intuito de verificar o estado dos rolos das prensas. Com a análise dos *nips* (impressões das zonas de contacto entre os rolos superiores e inferiores). Aqui observou-se que o rolo da prensa húmida 3 apresentava um elevado desgaste, provocando um perfil heterogéneo nos fardos (Figura 34).

Após a troca do rolo realizada na paragem, verificou-se uma inversão e acentuação na diferença de tensões entre a tela inferior e superior de ambos os lados (Figura 33). Tal

diferença poderá estar relacionada com o desalinhamento da máquina, cuja inspeção/correção terá de ser realizada por uma empresa externa.

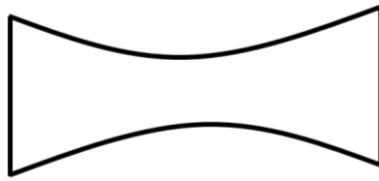


Figura 34 – Representação dos *nips* dos rolos das prensas

4.4 Metodologia 3C aplicada ao caso de estudo

4.4.1 Problema 1

1. Problema – CASO

Não uniformização da gramagem ao longo da largura da folha.

2. Causa do Problema – CAUSA

De modo a diagnosticar e categorizar as causas deste problema, foi elaborado um Diagrama de *Ishikawa* representado na Figura 35.

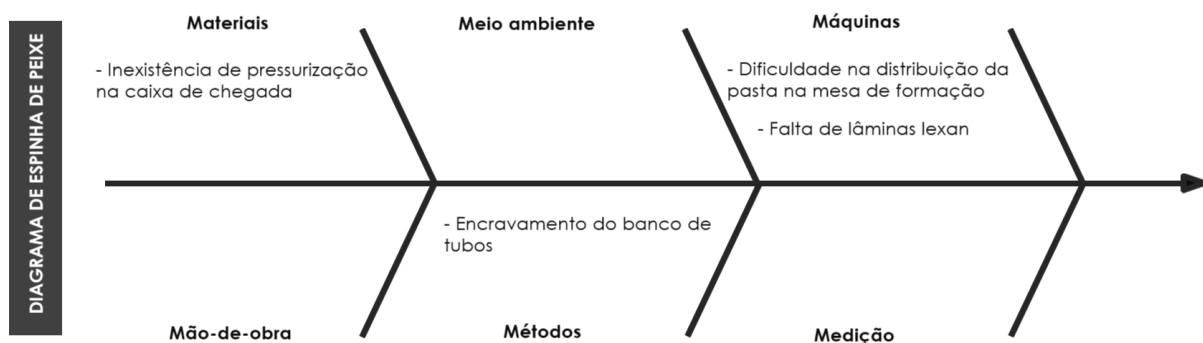


Figura 35 – Diagrama de *Ishikawa* - Gramagem

3. Plano de Ações – CONTRAMEDIDAS

Para cada causa existem várias contramedidas que podem atenuar a mesma, representadas na Tabela 9.

Tabela 9: Causas e contramedidas sobre a não uniformização da gramagem ao longo da largura da folha

Causa		Contramedida	
1	Encravamento do banco de tubos	1.1	Baixar consistência à entrada da mesa
		1.2	Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada
2	Dificuldade na distribuição da pasta	2.1	Adicionar lâminas <i>lexan</i>
		2.2	Aumento do diâmetro dos tubos, no banco de tubos
		2.3	Desencravamento da recirculação da caixa de chegada

Seguidamente será detalhada cada contramedida apresentada na Tabela 9. Relativamente à causa nº 1, encravamento do banco de tubos, tem-se:

1.1 Baixar a consistência à entrada da mesa de 1,8 para 1,6%, de modo a haver menos encravamentos no banco de tubos. Para além disso, existiria uma melhoria no fluxo da pasta, aprimorando a alimentação à mesa. No entanto, esta ação faz com que a pasta esteja mais diluída e assim será necessária uma maior drenagem nas próximas fases da secagem. Relativamente a investimento, deverá ser substituído ou reparado o transmissor de consistência à entrada da caixa de chegada.

1.2 Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada com regulador de pressão na linha de ar comprimido. Este sistema tem como objetivo diminuir os encravamentos do banco de tubos e assim uniformizar a gramagem ao longo da folha.

Relativamente à causa nº2, dificuldade na distribuição da pasta:

2.1 Adicionar lâminas *lexan* dentro da caixa. Estas são estabilizadoras, com a função de distribuir de forma uniforme a fibra à saída do lábio. Esta ação acarreta custos para a empresa, uma vez que será necessário a aquisição das mesmas.

2.2 Aumento do diâmetro dos tubos, no banco de tubos, de forma a aumentar a área de passagem de pasta para que a mesma não leve a colmatação da secção do tubo devido a consistências de operação.

2.3 Desencravar a recirculação da caixa de chegada, para assegurar uma distribuição de pasta constante em toda a largura da máquina.

4.4.2 Problema 2

1. Problema – CASO

Perfil de humidade ao longo da folha não é constante.

2. Causa do Problema – CAUSA

De modo a diagnosticar e categorizar as causas deste problema, foi elaborado um Diagrama de *Ishikawa* representado na Figura 36.

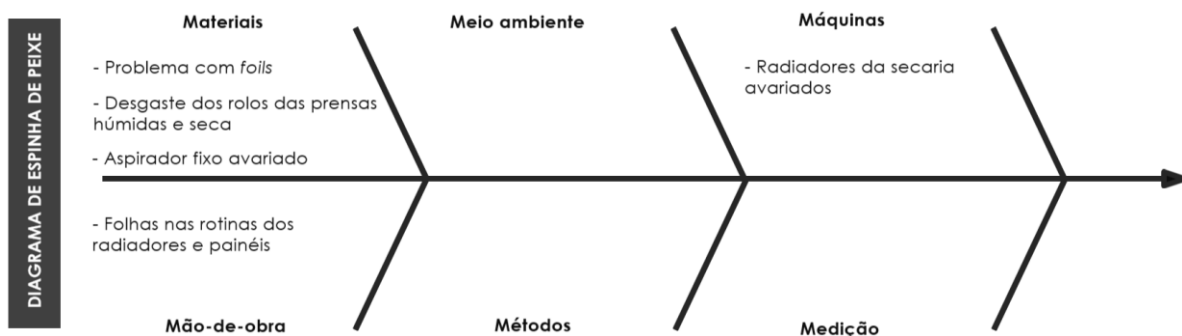


Figura 36 – Diagrama de *Ishikawa* - Humidade

3. Plano de Ações – CONTRAMEDIDAS

Tal como no problema anterior, para cada causa existem várias contramedidas que podem atenuar a mesma, representadas na Tabela 10.

Tabela 10: Causas e contramedidas sobre a não uniformização de humidade ao longo da folha

Causa		Contramedida	
3	Problema de drenagem	3.1	Alteração dos <i>foils</i> na caixa <i>hidrofoil</i>
		3.2	Manutenção melhorativa dos rolos das prensas húmidas e da prensa seca
		3.3	Instalação de caixa de vácuo de <i>foil</i> na zona dos rolos desaguadores
4	Radiadores da secaria avariados	4.1	Reparação dos radiadores fora de serviço
		4.2	Aumento de rotinas preventivas dos radiadores
5	Problema nos painéis da secaria	5.1	Reparação do aspirador fixo da secaria
		5.2	Implementação de rotina de limpeza dos painéis da secaria

Seguidamente será detalhada cada contramedida apresentada na Tabela 10. Relativamente à causa nº3, problema de drenagem:

3.1 Alteração dos *foils*. Neste momento, encontram-se uns *foils* que não apresentam as mesmas dimensões que o encaixe, isso não permite que os mesmos façam a sua função por completo. Em suma, esta alteração contribuirá para a uniformização de drenagem da água ao longo da folha e assim, um perfil uniforme de humidade na folha.

3.2 Existir uma manutenção melhorativa dos rolos das prensas húmidas e da prensa seca. Os *nips* não estão uniformes e os rolos estão a drenar mais nas pontas, o que faz com que exista um desvio de humidade considerável entre os fardos das pontas e do meio, contribuindo para a não uniformização do perfil.

3.3 Instalação de caixa de vácuo de *foil* na zona dos rolos desaguadores. Neste momento, a máquina já contém uma caixa de vácuo, que necessita de ajustes nos *foils* ou substituição dos mesmos, de modo a aumentar a sua eficiência de drenagem, tal como foi descrito no ponto 3.1. A adição de mais uma caixa de

vácuo ia possibilitar ainda mais, um aumento de drenagem de água, logo na fase inicial.

No que diz respeito à causa nº4, radiadores da secaria avariados:

4.1 Reparação dos radiadores que se encontram fora de serviço, de modo a melhorar/recuperar a eficiência total da secaria e assim, permitir que a secagem seja feita de forma uniforme ao longo de toda a folha, uniformizando a sua humidade.

4.2 Aumento de rotinas preventivas aos radiadores da secaria. De forma a prevenir o que ocorreu no ponto 4.1, é essencial que se aumente as rotinas aos radiadores para se identificar pequenos danos nos mesmos, evitando estragos de maior escala.

Relativamente à causa nº5, problema nos painéis da secaria:

5.1 Reparação do aspirador fixo da secaria, que serve para executar a limpeza dos painéis. Neste momento, este aspirador encontra-se avariado e por esse motivo esta limpeza está a ser feita com um aspirador portátil. No entanto este apresenta menos eficácia na sua função.

5.2 Aumento de rotina de limpeza dos painéis da secaria, para aumento da eficiência de transferência de calor, uma vez que pequenas partículas de pasta que se vão soltando ao longo do processo de secagem acabam por construir uma resistência à permuta térmica da secaria.

4.5 Relação entre outros problemas e manutenção

Os pilares do caso de estudo baseiam-se nos 2 problemas apresentados anteriormente, não uniformização de gramagem e perfil de humidade inconstante ao longo da folha. No entanto, são ainda evidentes, componentes que influenciam o desempenho da instalação, mas não se encontram diretamente ligados aos problemas de humidade e gramagem.

Este subcapítulo tem por objetivo, comparar aquilo que está a ser realizado na empresa e o que deveria ser executado para melhorar o processo e as condições de trabalho.

4.5.1 Problema 3

Caso: Inexistência de controlo do vácuo.

Causa: Falta de equipamento de medição.

Contramedida: Instalação de vacuómetros na caixa *hidrofoil* e na caixa formadora curva.

Neste momento, não existe controlo do vácuo. Uma instalação de vacuómetros na caixa *hidrofoil* e na caixa formadora curva iria permitir a quantificação do vácuo nesses locais, de modo a verificar a consistência da pasta. Para além disso, servem também para constatar se as melhorias que estão a ser implementadas, se encontram a fazer o efeito devido (estando estas diretamente ligadas à humidade).

4.5.2 Problema 4

Caso: Dificuldade de redução de gramagem.

Causa: Problema de drenagem e formação da folha.

Contramedida: Mudar o sistema de guiamento da secaria para sistema ótico.

Para valores baixos de gramagem ao longo da folha é mais difícil garantir a uniformidade da folha e conseqüentemente, garantir a sua posição à saída da máquina. Com a instalação de um sistema de guiamento da secaria ótico, é possível um controlo mais fino do posicionamento da folha, que permite reduzir gramagens com menor risco de quebra por desvio.

4.5.3 Problema 5

Caso: Lavagem ineficiente das telas e do feltro.

Causa: Encravamento/entupimento dos bicos.

Contramedidas:

- Alterar as borrachas dos bicos dos chuveiros;
- Alterar os bicos dos chuveiros.

Atualmente, a lavagem das telas e do feltro está a ser ineficiente e muitas vezes os mesmos contêm resíduos de pasta que não saem, graças ao encravamento dos bicos dos

chuveiros. De modo a melhorar ou solucionar o problema, devem ser alteradas as borrachas dos bicos dos chuveiros, para umas mais adequadas ao meio ácido que são sujeitas. Para além disso, podem ainda ser alterados os bicos dos chuveiros, com uma menor duração de tempo.

4.5.4 Problema 6

Caso: Saúde dos trabalhadores e de quem circula naquela área.

Causa: Acumulação de vapores no ar, principalmente durante as lavagens químicas.

Contramedida: Reparação/substituição dos ventiladores de parede.

Reparar/substituir os ventiladores de parede de forma a melhorar o ar ambiente e reduzir o risco para os trabalhadores de inalação de gases processuais, libertados aquando do processo de secagem e durante as lavagens químicas com hidróxido de sódio.

4.6 Matriz de esforço e impacto aplicada ao caso de estudo

Esta matriz, apresentada na Figura 40, foi criada com o objetivo de identificar, como o próprio nome indica, a prioridade na implementação das ações sugeridas na secagem. Para a realização desta matriz, identificaram-se as principais ações e foram preenchidas as células em Excel® que têm em conta os seguintes tópicos (Figuras 37,38 e 39):

- O quê;
- Porquê;
- Onde;
- Prós;
- Contras;
- Nível de impacto;
- Nível de esforço;
- Tempo para executar a ação;
- Investimento (CAPEX – *Capital Expenditure*);
- Custo de operação (OPEX – *Operational Expenditure*).

Esta folha Excel® foi inicialmente elaborada por parte do Instituto Kaizen de modo que fossem solucionados problemas mais facilmente, por parte da empresa.

TAG	WHAT	WHY	WHEN/WHERE/HOW
Baixar consistência à entrada da mesa	Não uniformização da gramagem ao longo da folha	Encravamento do banco de tubos	Alimentação à máquina
Adicionar lâminas lexan	Não uniformização da gramagem ao longo da folha	Dificuldade na distribuição da pasta na mesa de formação	Caixa de chegada
Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada	Não uniformização da gramagem ao longo da folha	Não existe pressurização na caixa de chegada	Caixa de chegada
Alteração dos foils na caixa hidrofoil	Perfil de humidade ao longo da folha não é constante	Problema de drenagem	Caixa hidrofoil
Manutenção melhorativa dos rolos das prensas húmidas e seca	Perfil de humidade ao longo da folha não é constante	Problema de drenagem	Rolos das prensas húmidas e da prensa seca
Reparação dos radiadores fora de serviço	Perfil de humidade ao longo da folha não é constante	Radiadores da secaria avariados	Secaria
Aumento de rotinas preventivas dos radiadores	Perfil de humidade ao longo da folha não é constante	Garantir a máxima performance da secaria	Secaria
Implementação de rotina de limpeza dos painéis da secaria	Perfil de humidade ao longo da folha não é constante	Sujidade nos painéis	Secaria
Reparação do aspirador fixo da secaria	Perfil de humidade ao longo da folha não é constante	Sujidade nos painéis	Secaria
Instalação de caixa de vácuo foil na zona dos rolos desaguadores	Perfil de humidade ao longo da folha não é constante	Problema de drenagem	Rolos desaguadores
Aumento do diâmetro dos tubos, no banco de tubos	Não uniformização da gramagem ao longo da folha	Dificuldade na distribuição da pasta na mesa de formação	Caixa de chegada
Instalação de vacuómetros na caixa hidrofoil e na caixa formadora curva	Inexistência de controlo de vácuo	Falta de equipamento de medição	Caixa hidrofoil e caixa formadora curva
Mudar o sistema de guiamento da secaria para sistema ótico	Baixar a gramagem da pasta	Problema de drenagem e formação de folha	Secaria
Alterar as borrachas dos bicos dos chuveiros	Lavagem ineficiente das telas e do feltro	Encravamento dos bicos	Chuveiros
Alterar os bicos dos chuveiros	Lavagem ineficiente das telas e do feltro	Encravamento dos bicos	Chuveiros
Reparação/ substituição de ventiladores de parede	Saúde dos trabalhadores e de quem circula naquela área	Acumulação de vapores no ar, principalmente durante lavagens químicas	Ventiladores de parede

Figura 37 – Folha de dados Excel® para elaboração da matriz de esforço e impacto

TAG	PROS	CONS	IMPACT [1 (Muito)-5(Muito elev.)]	EFFORT [1 (Muito)-5(Muito elev.)]	SCORE
Baixar consistência à entrada da mesa	Melhoria do fluxo da pasta através dos tubos, melhorando a alimentação à mesa	Pode diminuir a eficiência da máquina (dificuldade em drenar)	4	1	5
Adicionar lâminas lexan	Melhoria na uniformização da pasta ao longo da folha	Custos para a empresa, aquisição de lâminas	1	3	4
Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada	Manter uma recirculação constante na caixa	Custo do sistema de pressurização da caixa	5	4	9
Alteração dos foils na caixa hidrofoil	Maior vácuo, logo, maior eficiência de drenagem de água	Custos para a empresa, aquisição dos foils	4	2	6
Manutenção melhorativa dos rolos das prensas húmidas e seca	NIPS uniformes, drenagem uniforme ao longo da folha	Custo relacionado com aquisição ou reparação dos rolos	4	4	8
Reparação dos radiadores fora de serviço	Maior eficácia na secagem da pasta dentro da secaria, mais produção e redução de vapor	Custos para a empresa, reparação e compra de radiadores	5	4	9
Aumento de rotinas preventivas dos radiadores	Menor probabilidade de avarias em radiadores, rápida substituição em caso de avaria	Aumento dos custos de armazém	3	5	8
Implementação de rotina de limpeza dos painéis da secaria	Garantir a máxima eficiência térmica e energética dos radiadores	-	4	1	5
Reparação do aspirador fixo da secaria	Garantir a máxima eficiência térmica e energética dos radiadores	Custos com a reparação do aspirador	4	3	7
Instalação de caixa de vácuo foil na zona dos rolos desaguadores	Maior vácuo, logo, maior capacidade de drenagem de água e maior produção	Custos de instalação e reestruturação profunda da máquina	5	5	10
Aumento do diâmetro dos tubos, no banco de tubos	Melhoria na uniformização da pasta ao longo da folha	Custos de instalação e reestruturação profunda da caixa de chegada	5	5	10
Instalação de vacuómetros na caixa hidrofoil e na caixa formadora curva	Controlo de condições do processo	Custo dos vacuómetros	1	1	2
Mudar o sistema de guiamento da secaria para sistema ótico	Melhor formação de folha	Custos associados ao sistema	2	4	6
Alterar as borrachas dos bicos dos chuveiros	Melhor lavagem das telas e feltro	Custos das borrachas	1	2	3
Alterar os bicos dos chuveiros	Melhor lavagem das telas e feltro	Custos dos bicos dos chuveiros	3	4	7
Reparação/ substituição de ventiladores de parede	Melhoria do ar e melhor proteção para a saúde dos trabalhadores	Custos na reparação/ substituição dos ventiladores de parede	4	3	7

Figura 38 – Folha de dados Excel® para elaboração da matriz de esforço e impacto (continuação 1)

TAG	TIME	COMPLEXIT	CONTROL	CAPEX	OPEX
Baixar consistência à entrada da mesa	Imediato	Baixa	Dificuldade no controlo da consistência	Aquisição de Transmissor de consistência	Vapor e energia elétrica
Adicionar lâminas lexan	1 mês	Baixa	Perfil de gramagem	Aquisição de lâminas lexan	-
Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada	6 meses	Elevada	Perfil de gramagem	Aquisição de sistema	Ar comprimido
Alteração dos foils na caixa hidrofoil	6 meses	Média	Perfil de humidade	Aquisição dos foils	-
Manutenção melhorativa dos rolos das prensas húmidas e seca	6 meses	Elevada	Perfil de humidade e Testes NIPS	Aquisição de rolos	-
Reparação dos radiadores fora de serviço	1 ano	Elevada	Controlo de temperatura na secaria e perfil de humidade	Aquisição de radiadores	-
Aumento de rotinas preventivas dos radiadores	6 meses	Média	Controlo de temperatura na secaria, perfil de humidade e inspeção visual à secaria	Aquisição de radiadores	-
Implementação de rotina de limpeza dos painéis da secaria	Imediato	Baixa	Consumo específico de vapor e controlo de temperaturas na secaria	-	-
Reparação do aspirador fixo da secaria	1 mês	Baixa	Consumo específico de vapor e controlo de temperaturas na secaria	Aquisição/ reparação do aspirador	-
Instalação de caixa de vácuo foil na zona dos rolos desaguadores	2 anos	Muito elevada	Perfil de humidade e consistência à saída da máquina	Aquisição da caixa de vácuo e custos com a instalação	-
Aumento do diâmetro dos tubos, no banco de tubos	2 anos	Muito elevada	Perfil de gramagem	Custos com a alteração dos do diâmetro dos tubos	-
Instalação de vacuómetros na caixa hidrofoil e na caixa formadora curva	1 mês	Baixa	Controlo de vácuo	Aquisição de vacuómetros	-
Mudar o sistema de guiamento da secaria para sistema ótico	1 ano	Muito elevada	Perfil de gramagem	Aquisição do sistema	-
Alterar as borrachas dos bicos dos chuveiros	1 mês	Baixa	Perfil de humidade	Aquisição de borrachas	-
Alterar os bicos dos chuveiros	6 meses	Elevada	Perfil de humidade	Aquisição dos bicos dos chuveiros	-
Reparação/ substituição de ventiladores de parede	6 meses	Média	-	Aquisição/ reparação dos ventiladores de parede	Consumo elétrico

Figura 39 – Folha de dados Excel® para elaboração da matriz de esforço e impacto (continuação 2)

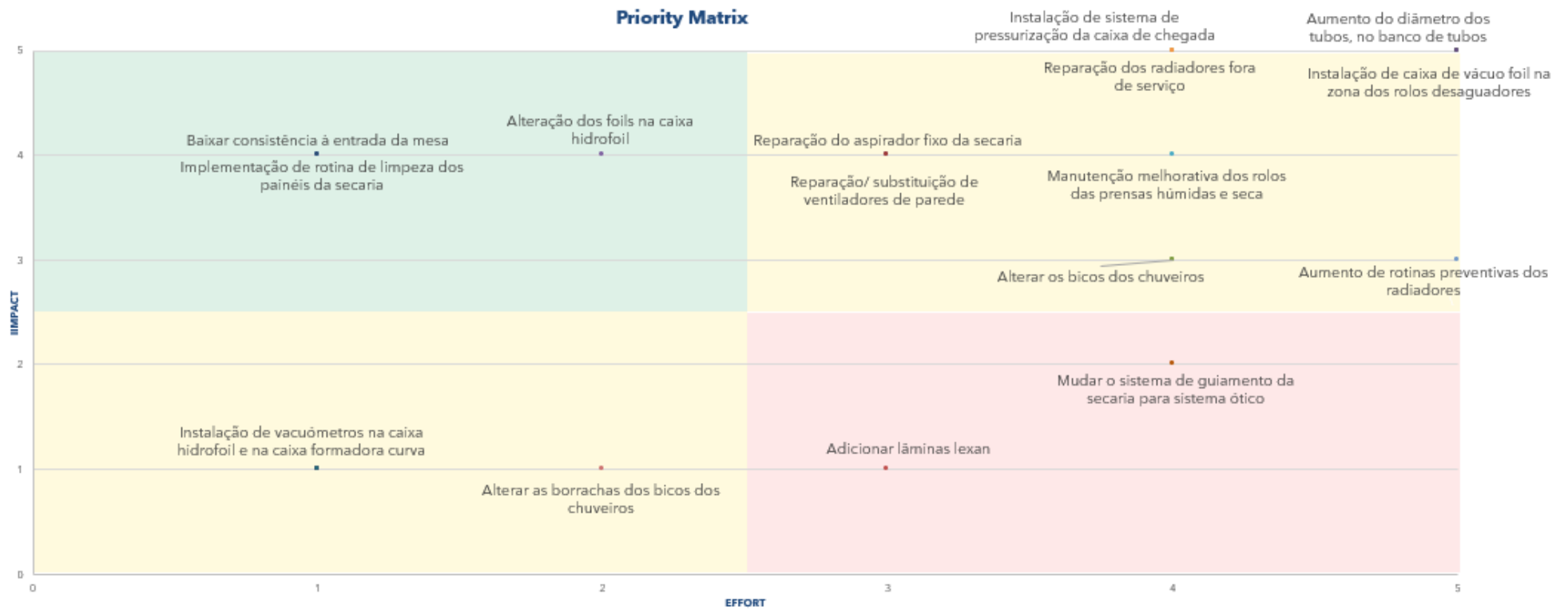


Figura 40 – Matriz de esforço e impacto ou de Prioridades, aplicada ao caso de estudo

A Tabela 11 foi elaborada tendo em conta a matriz de prioridades, representada na Figura 40. Relativamente à ordem de prioridade das várias ações, é notório que em primeiro lugar serão executadas as ações que constam no quadrante com a cor verde (menos esforço, maior impacto). As medidas que vêm posteriormente são aquelas que se encontram nos quadrantes a amarelo. Neste caso, inicia-se por aquelas que apresentam menor esforço (*quick wins*). Seguidamente, surgem aquelas que têm maior esforço, mas que representam um elevado impacto. Por fim, a longo prazo, deverão ser analisadas as ações com maior esforço e menor impacto.

Tabela 11: Ações ordenadas segundo prioridade

Ordem de Prioridade	Ação
1	Implementação de rotina de limpeza dos painéis da secaria
	Baixar a consistência à entrada da mesa
2	Alteração dos <i>foils</i> na caixa <i>hidrofoil</i>
3	Instalação de vacuómetros na caixa <i>hidrofoil</i> e na caixa formadora curva
4	Alterar borrachas dos bicos dos chuveiros
5	Reparação/ substituição de ventiladores de parede
	Reparação do aspirador fixo da secaria
6	Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada
7	Reparação dos radiadores fora de serviço
8	Manutenção melhorativa dos rolos das prensas húmidas e da prensa seca
9	Alterar bicos dos chuveiros
10	Instalação de caixa de vácuo <i>foil</i> na zona dos rolos desaguidores
	Aumento do diâmetro dos tubos, no banco de tubos
11	Aumento das rotinas preventivas dos radiadores
12	Adicionar lâminas <i>lexan</i>
13	Mudar o sistema de guiamento da secaria para sistema ótico

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Considerações Finais

O presente estágio possibilitou a aquisição de inúmeros conhecimentos acerca da indústria de pasta de celulose e da realidade diária numa fábrica de laboração contínua. Os problemas surgem quando menos se espera e a reação tem de ser imediata, aqui os engenheiros de processo têm um papel crucial na tomada de decisões. É ainda essencial, uma boa gestão entre o processo e as necessidades e condições de cada trabalhador.

Os parâmetros, formação da folha, humidade e gramagem encontram-se interrelacionados, tal como pode constatar pelo discutido no capítulo anterior. A folha é formada à entrada da secção da secagem e inicia logo a sua formação com erros associados, devido ao espalhamento da massa na mesa de formação não ser uniforme em toda a largura da máquina. Como consequência da má formação da folha de pasta são gerados problemas na humidade e na gramagem. Visto que a folha não detém a mesma quantidade de fibra celulósica ao longo de toda a largura da folha e a fibra é extremamente higroscópica, a humidade também não poderá ser a mesma. Em suma, os problemas relacionados com o caso de estudo, nunca poderão ser colmatados, sem alterar/corrigir questões relacionadas com a formação da folha de pasta.

Com o objetivo de melhorar a qualidade do produto final e outros pontos analisados na secção de secagem foi delineada uma lista com ações a executar. Para além disso, com a ajuda da matriz de prioridades elaborada, verificou-se a ordem que faria mais sentido para a empresa as implementar, iniciando-se por ações com menos esforço e menos impacto. Nesta lista constam ainda melhorias ou alterações que devem ocorrer no que diz respeito à manutenção, de forma a beneficiar o tempo de vida útil dos equipamentos ou da saúde dos trabalhadores e dos demais que frequentam aquela área.

A lista ordenada encontra-se apresentada abaixo:

1. Implementação de rotina de limpeza dos painéis da secaria;
2. Baixar a consistência à entrada da mesa;
3. Alteração dos *foils* na caixa *hidrofoil*;
4. Instalação de vacuómetros na caixa *hidrofoil* e na caixa formadora curva;

5. Alterar borrachas dos bicos dos chuveiros;
6. Reparação/ substituição de ventiladores de parede;
7. Reparação do aspirador fixo da secaria;
8. Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada;
9. Reparação dos radiadores fora de serviço;
10. Instalação de sistema de pressurização da caixa de chegada;
11. Reparação dos radiadores fora de serviço;
12. Manutenção melhorativa dos rolos das prensas húmidas e da prensa seca;
13. Alterar bicos dos chuveiros;
14. Instalação de caixa de vácuo *foil* na zona dos rolos desaguadores;
15. Aumento do diâmetro dos tubos, no banco de tubos;
16. Aumento das rotinas preventivas dos radiadores;
17. Adicionar lâminas *lexan*;
18. Mudar o sistema de guiamento da secaria para sistema ótico.

Por fim e com os pontos cruciais para uma melhoria no processo, apenas resta a realização dos mesmos. No entanto, a ciência comprova que está sempre em evolução e as indústrias encontram-se diretamente ligadas à mesma, por esse motivo será crucial avançar para investigações/estudos futuros que irão permitir a obtenção de mais resultados e assim evoluir num caminho de sucesso na indústria da celulose.

5.2 Propostas de Melhoria para trabalhos futuros

- Estudo da humidade em armazém – Colheita de amostra na altura que passa no Sistema Forté e novamente, passados alguns dias em armazém, que tem como objetivo identificar se existe alguma alteração de humidade entre as duas e encontrar melhorias, de modo a cessar com o mesmo.
- Estudo do peso em armazém – Verificação do peso após algum tempo no armazém e estudar as condições do armazém com influência neste parâmetro.
- Criação de diferentes retas de calibração para os diferentes tipos de produções de pasta.
- Estudo do impacto das estações do ano, principalmente o verão e o inverno, na alteração da humidade, uma vez que o armazém não é climatizado e o material (pasta solúvel) é extremamente higroscópico, logo muito afetado pela humidade ambiente.

Referências Bibliográficas

ACCEPT (2024) PDCA: PLAN-DO-CHECK-ACT. Disponível em: <https://www.accept.pt/pdca-plan-do-check-act/> (Acedido a 13/2/2024).

Altri (2024). Disponível em: <https://altri.pt/pt> (Acedido a 15/2/2024).

Altri News (2018). Diferenças entre a produção de pasta de papel e pasta solúvel. Disponível em: <https://conteudos.xl.pt/altri-news/diferencas-entre-a-producao-de-pasta-de-papel-e-pasta-soluvel/> (Acedido a 13/2/2024).

Berrada, M., Stanislaw, T., Mohammed, E. E. & Radziszewski, P. H. (1997). *A State Model for the Drying Paper in the Paper Product Industry*. IEEE Transactions on industrial electronics, 44 (4), 579-586. DOI: 10.1109/41.605638

Cabral, J. P. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção: Dos conceitos à prática*. (5.ed.). Lisboa: Lidel.

Cabrita, C. M. P. & Silva, C. M. I. (2002). *Organização e Gestão da Manutenção Industrial*. Unidade Científica e Pedagógica de Ciências de Engenharia. Universidade da Beira Interior. Covilhã.

Caima (2018). *Exposição Caima 130 anos*. Disponível em: <https://www.caima.pt/pt/eventos/exposicao-caima-130-anos> (Acedido a 15/2/2024).

Caima (2024). Disponível em: <https://www.caima.pt/pt> (Acedido a 16/2/2024).

Caima - Declaração Ambiental de 2023 (2024). Disponível em: <https://www.caima.pt/fileManager/editor/comunicados/DeclaracaoAmbiental2023.pdf> (Acedido a 20/2/2024).

Caima - IO Branqueamento (2024). Direção de Produção (Acedido a 1/3/2024).

Caima - IO Digestores (2024). Direção de Produção (Acedido a 27/2/2024).

Caima - IO Lavagem (2024). Direção de Produção (Acedido a 29/2/2024).

Caima - IO Linha de embalagem (2024). Direção de Produção (Acedido a 5/3/2024).

Caima - IO Preparação do ácido (2024). Direção de Produção (Acedido a 26/2/2024).

Caima - IO (Instrução de Operação) Preparação de madeira (2024). Direção de Produção (Acedido a 23/2/2024).

Caima - IO Secagem (2024). Direção de Produção (Acedido a 2/3/2024).

Caima - Manual de Integração (2024). Caima (Acedido a 16/2/2024).

Caima - PGQ (Procedimento de Gestão de Qualidade) de Amostragem e classificação da pasta (2024). Setor de Controlo Técnico e Sistemas de Gestão (Acedido a 6/3/2024).

Caima - PGQ 50.02 – Sistema de Gestão da Manutenção. Direção de Manutenção Industrial (Acedido a 11/3/2024).

Caima - Relatório de Gestão Integrado (2023). Setor de Controlo Técnico e Sistemas de Gestão (Acedido a 20/2/2024).

Forté Technology Inc. (2007). *Series 8760 Maintenance & Troubleshooting Manual*. Tauton, USA. Disponível em: http://www.fortetec.com/KB_Content/Maintenance_Man_82-1613B.pdf (Acedido a 19/3/2024).

Ghodbanan, S., Alizadeh, R. & Shafiei, S. (2015). Modelação em estado estacionário de secadores multicilindricos em máquinas de papel canelado. *Tecnologia de Secagem*, 33 (12). DOI: 10.1080/07373937.2015.1020161

Górny, A. (2017). “Identificação das causas de acidentes de trabalho através da utilização do diagrama de *Ishikawa* e dos princípios de Pareto. *Topics in Economics, Business and Management (EBM)* 1 (1), 384-388. DOI: 10.26480/icemi.01.2017.384.388

ICNF (2019). Inventário Florestal Nacional. Disponível em: <https://www.icnf.pt/noticias/inventarioflorestalnacional> (Acedido a 13/2/2024).

Inácio, L. C. R., Avelino, S. F., Sanjulião, L. K. A., Reis, M. J., Borges, V. O., Piantino, L. F. M., Pinto, R. A. N. & Silva, H. M. (2023). Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de *Ishikawa*, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. *Revista GeSec*, 14 (10), 17413-17427. DOI: 10.7769/gesec.v14i10.2890

Invasoras (2024). *Eucalyptus globulus*. Disponível em: <https://invasoras.pt/pt/planta-invasora/eucalyptus-globulus> (Acedido a 11/2/2024).

Ji, L. e Zhao, L. (2015). *Current situation and future trend of the dissolving market in domestic and international, China Pulp Paper Ind.* 36 (3), 41-45.

Kaizen (2024). A importância da Gestão Estruturada de Equipas: De “Apagar Fogos” para uma Abordagem Orientada à Melhoria. Disponível em: <https://kaizen.com/pt/insights-pt/gestao-estrutura-equipas/> (Acedido a 13/2/2024).

Karlsson, M. & Stenström, S. (2007). Modelagem estática e dinâmica de secagem de papelão. Parte 1: Modelo Teórico. *Tecnologia de Secagem*, 23 (1-2), 143-163. DOI: 10.1081/DRT-200047954

Kong, L. & Liu, H. (2011). A Static Energy Model of Conventional Paper Drying for Multicylinder Paper Machines. *Drying Technology*, 30 (3), 276-296. Disponível em: 10.1080/07373937.2011.635253

Lachovicz, F. J., Fernandes, T. S. P., Bessa, M. R. & Geus, K. (2020). Ponderação de Critérios de otimização utilizados em fluxo de potência ótimo dinâmico que realiza despacho de geração hidrotérmico mensal discretizado por patamares de carga. *Simpósio Brasileiro de Sistemas*, 1 (1). DOI: 10.48011/sbse.v1i1.2325

Li, Y., Liu, H., Li, J. & Tao, J. (2011). *Process Parameters Optimization for Energy Saving in Paper Machine Dryer Section. Drying Technology*, 29 (8), 910-917. DOI: 10.1080/07373937.2010.548617

Liu, Y., Shi, L., Cheng, D. & He, Z. (2016). *Dissolving pulp market and technologies: Chinese prospective - a mini-review. BioResources*, 11 (3), 7902–7916.

Marques, A. I. F. (2014). Isolamento de Xilanas por Precipitação com Antisolventes (Dissertação de mestrado). Técnico de Lisboa. Lisboa.

Nilsson, L. (2004). Transferência de calor e massa na secagem multicilíndrica: Parte I. Análise de dados de máquina. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43 (12), 1547-1553.

Pereira, H., Miranda, I., Tavares, F., Gominho, J., Quilhó, T., Graça, J., Rodrigues, J., Shatalov, A. & Knapic, S. (2009). Qualidade e utilização tecnológica do eucalipto (*Eucalyptus globulus*) – Parte II - Cap. 6: Composição química e Parte III - Cap. 11: Produção de pasta para papel. Centro de Estudos Florestais, Lisboa.

Reardon, S. A. (1994). *A Mathematical Model For The Simulation Of Paper Drying Energy Consumption* (Tese de Doutorado). Universidade da Tasmânia. Tasmânia.

Sadeghi, M. (2003). Fenómenos de modelagem e simulação na secagem de papel (Tese de Doutorado). McGill University. Montreal.

Santos, R. & Peres, S. (2017). Manual Introdutório ao Processo de Produção da Caima. Constância Sul.

Serralves (2024). Flora no Parque. Ficha técnica: *Eucalyptus globulus*. Disponível em: <https://sig.serralves.pt/pt/flora/detalhe.php?id=343> (Acedido a 12/2/2024).

Sixta, H. (2006). *Handbook of pulp*. (Vol. 1, 1.ed.). Weinheim, Alemanha: WILEY-VCH. Disponível em: <https://www.lcrl.ppc.ubc.ca/files/2013/01/2006-Pulp-Handbook.pdf>

The Navigator Company (2024). A Origem dos Nossos Papéis. Disponível em: <https://www.thenavigatorcompany.com/Sustentabilidade/Floresta-Sustentavel/Eucalipto> (Acedido a 12/2/2024).

UTAD Jardim Botânico (2024). Ficha da espécie *Eucalyptus globulus*. Disponível em: https://jb.utad.pt/especie/Eucalyptus_globulus (Acedido a 12/2/2024).

Videau, J. L., Lemaitre, A. & Foulard, C. (1980). Modelagem Dinâmica e Simulação da Secção de Secagem multicilindro de uma máquina de papel. Volumes de Atas da IFAC, 13 (11), 143-151. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)64428-8

Yeo, Y-K., Hwang, K-S., Yi, S. C. & Kang, H. (2004). *Modeling of the Drying Process in Paper Plants*. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 21 (4), 761-766. DOI: 10.1007/BF02705517

Anexos

Anexo I. Certificado de Aprovação ISO 9001:2015



Data atual deste Certificado: 22 Fevereiro 2021
Data de Validade: 5 Junho 2021
Número de Certificado: 10352694

Data de Aprovação:
ISO 9001 - 22 Fevereiro 2021

Certificado de Aprovação

Certifica-se que o Sistema de Gestão da:

CAIMA – Indústria de Celulose, S.A.;
CAIMA ENERGIA – Empresa de Gestão e
Exploração de Energia, S.A.;
Central Bioelétrica a Biomassa Florestal
de Constância da Bioelétrica da Foz, S.A.

Rua do Tejo, 2250-058 Constância, Portugal

foi aprovado pelo Lloyd's Register de acordo com as seguintes normas:

ISO 9001:2015

Números de Aprovação: ISO 9001 – 00030338

Este certificado só é válido junto com a folha anexa do mesmo número que lista os locais a que esta aprovação é aplicável.

O âmbito desta aprovação é aplicável a:

Produção e venda de pasta celulósica e outros derivados de lenhina. Produção de energia elétrica. Produção de energia elétrica a partir de biomassa.

Daniel Oliva Marcilio de Souza

Area Operations Manager - South Europe

Emitido por: Lloyd's Register EMEA

por e em representação da Lloyd's Register Quality Assurance Limited



Lloyd's Register Group Limited, its affiliates and subsidiaries, including Lloyd's Register Quality Assurance Limited (LRQA), and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as 'Lloyd's Register'. Lloyd's Register assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract. Issued by: Lloyd's Register EMEA, Avenida D Carlos I, Nº 44 - 6º, 1200-649 Lisbon, Portugal for and on behalf of: Lloyd's Register Quality Assurance Limited, 1 Trinity Park, Bickenhill Lane, Birmingham B37 7ES, United Kingdom

Page 1 of 2

Figura I1 – Certificado de Aprovação ISSO 9001:2015 da Caima S.A.

Anexo II. Análise gráfica das humidades com a gramagem em cada fardo

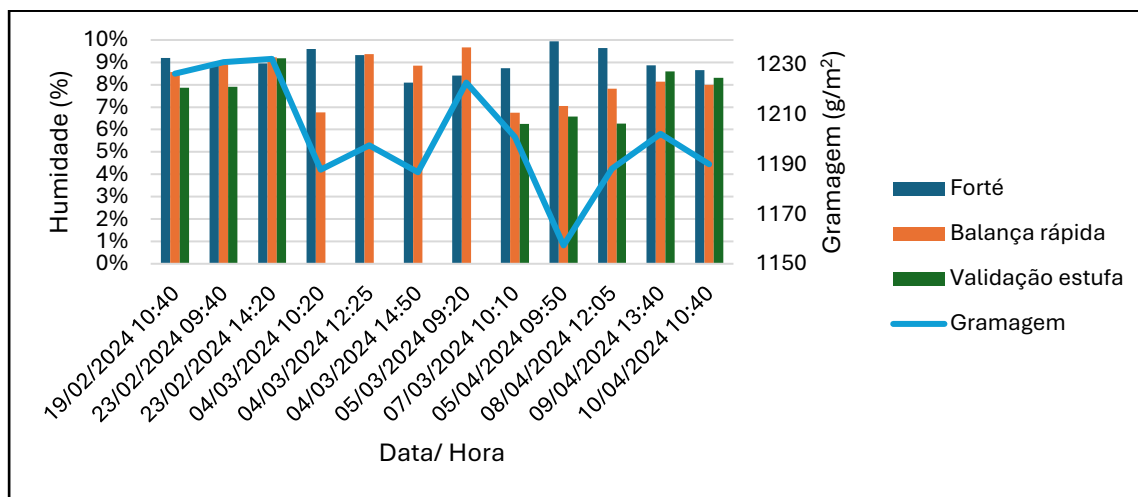


Figura II1 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 1

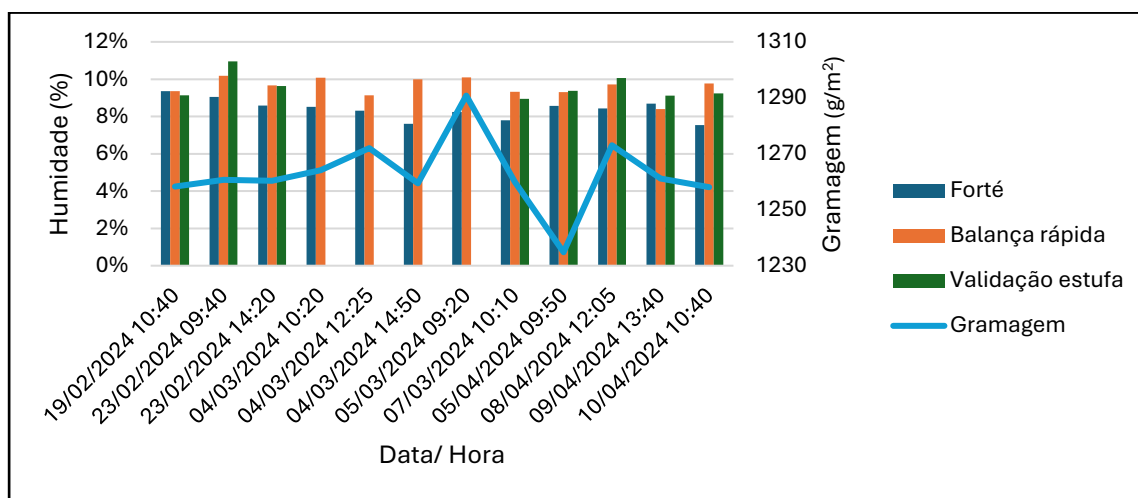


Figura II2 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 2

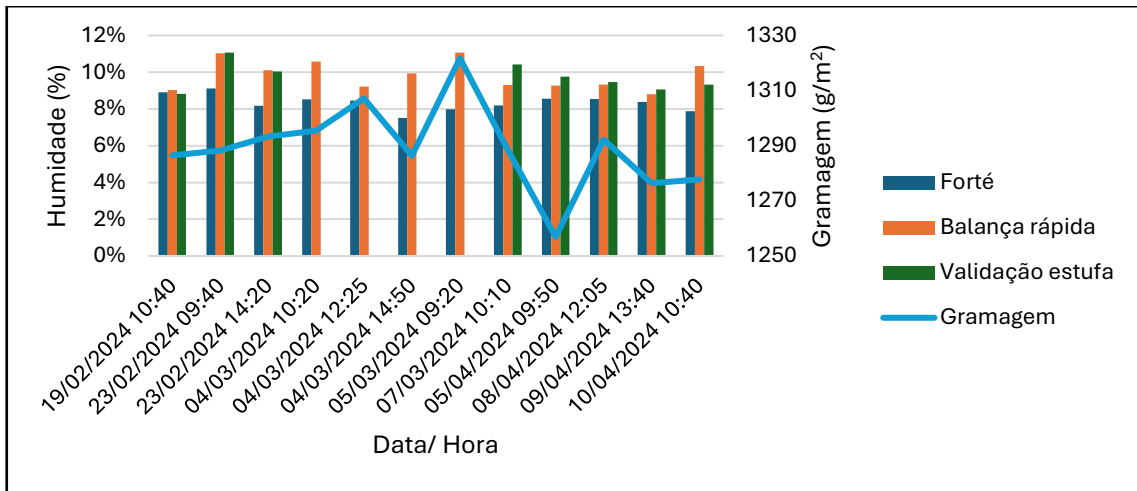


Figura II3 – Relação entre os 3 valores de umidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 3

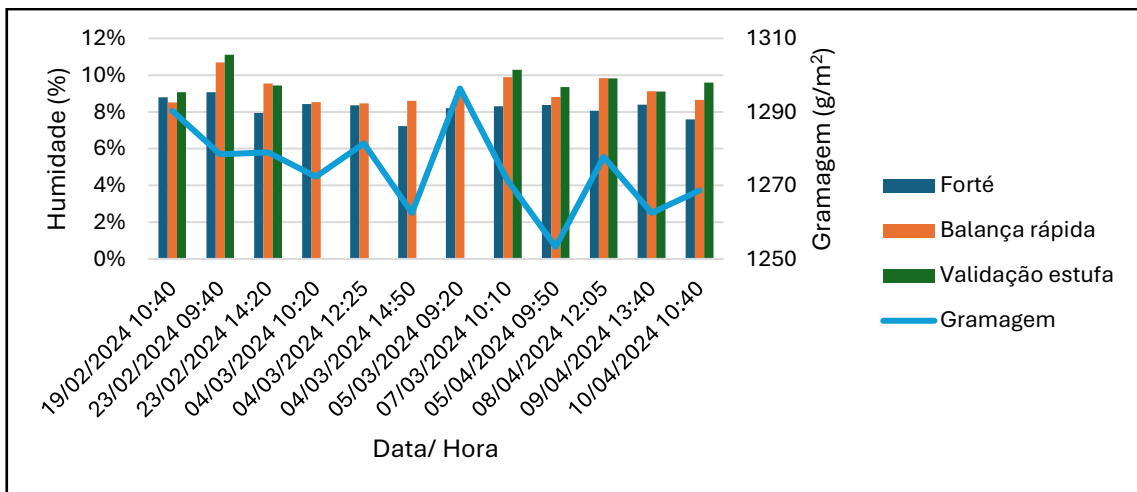


Figura II4 – Relação entre os 3 valores de umidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 4

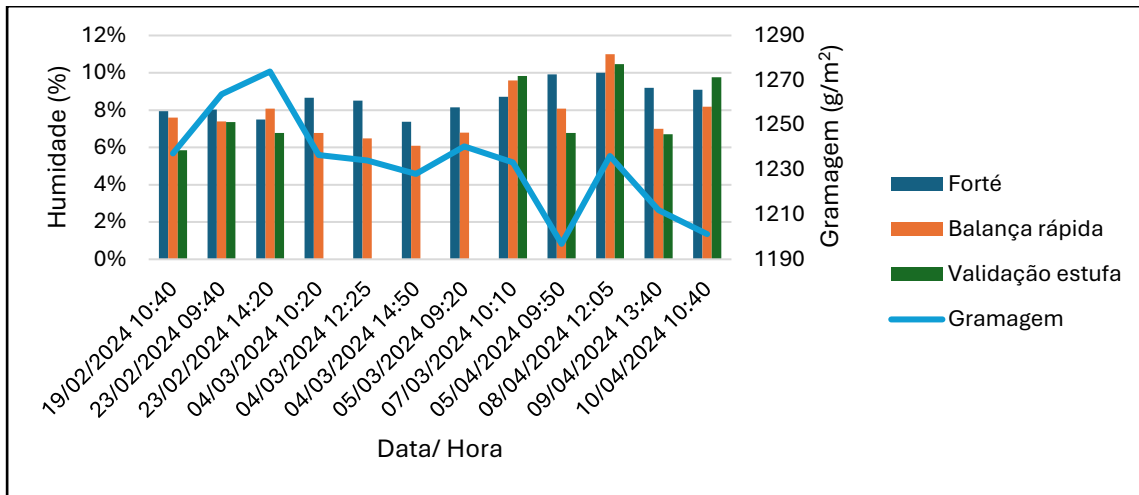


Figura II5 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e gramagem no fardo 5

Anexo III. Análise gráfica das humidades com o peso do fardo em cada fardo

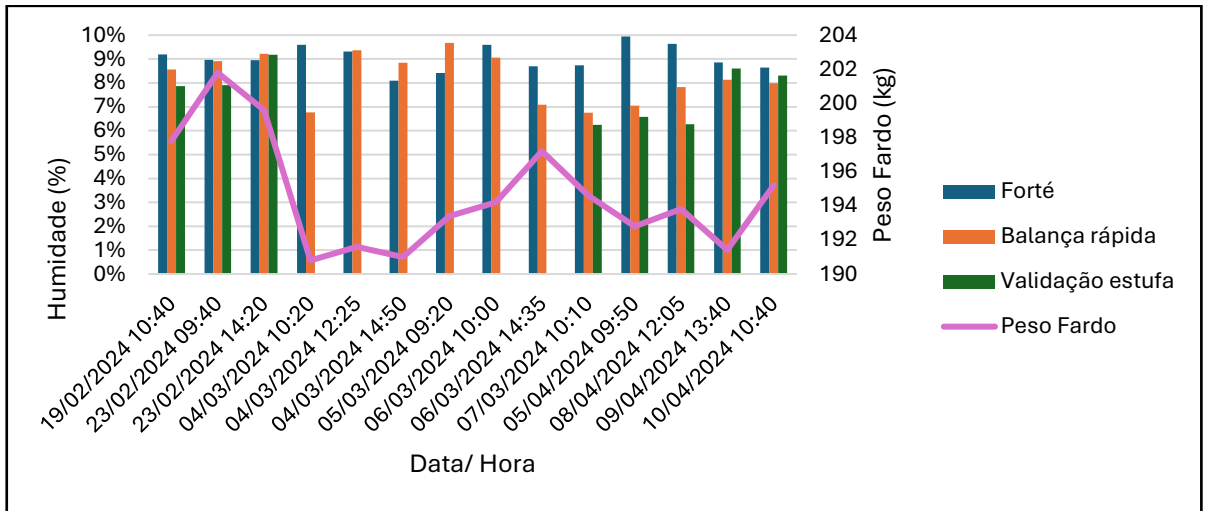


Figura III1 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 1

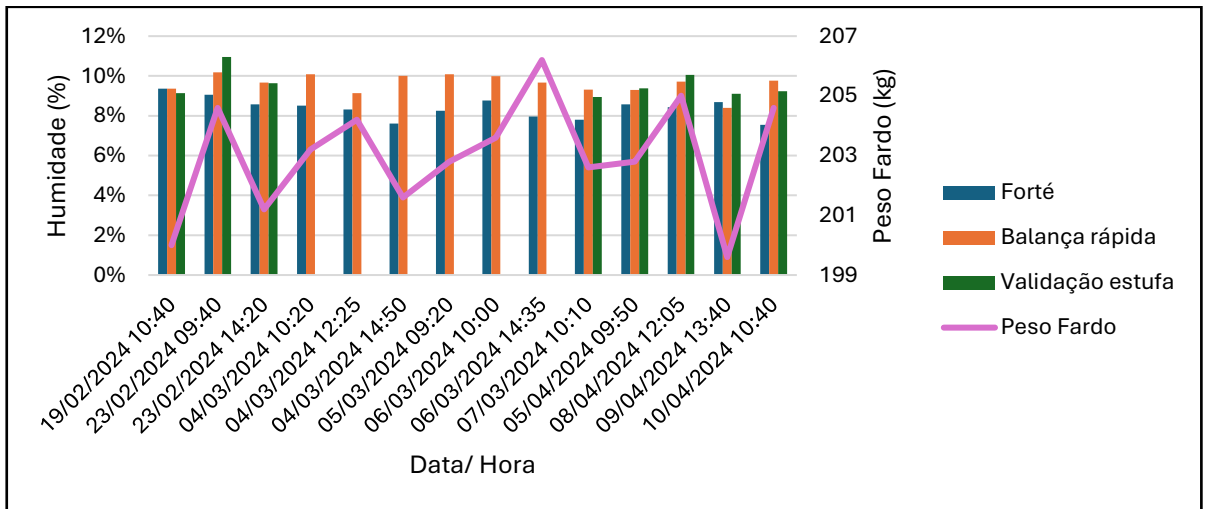


Figura III2 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 2

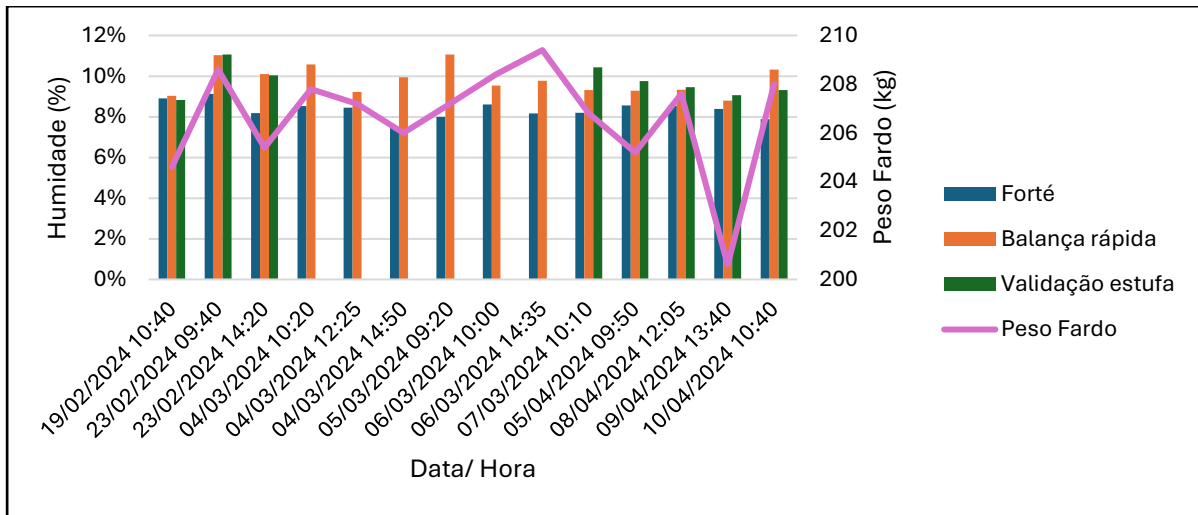


Figura III3 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 3

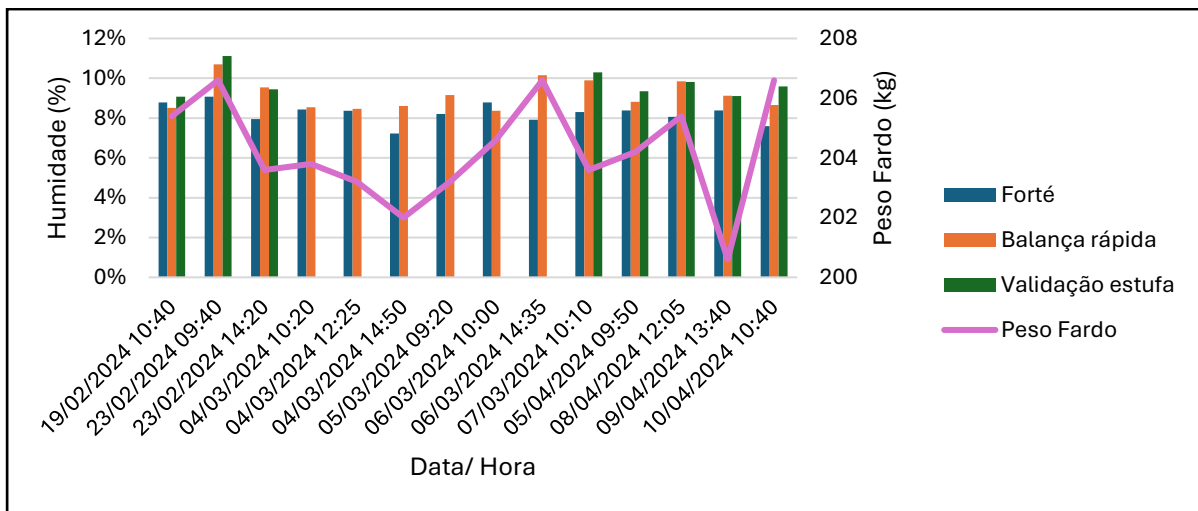


Figura III4 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 4

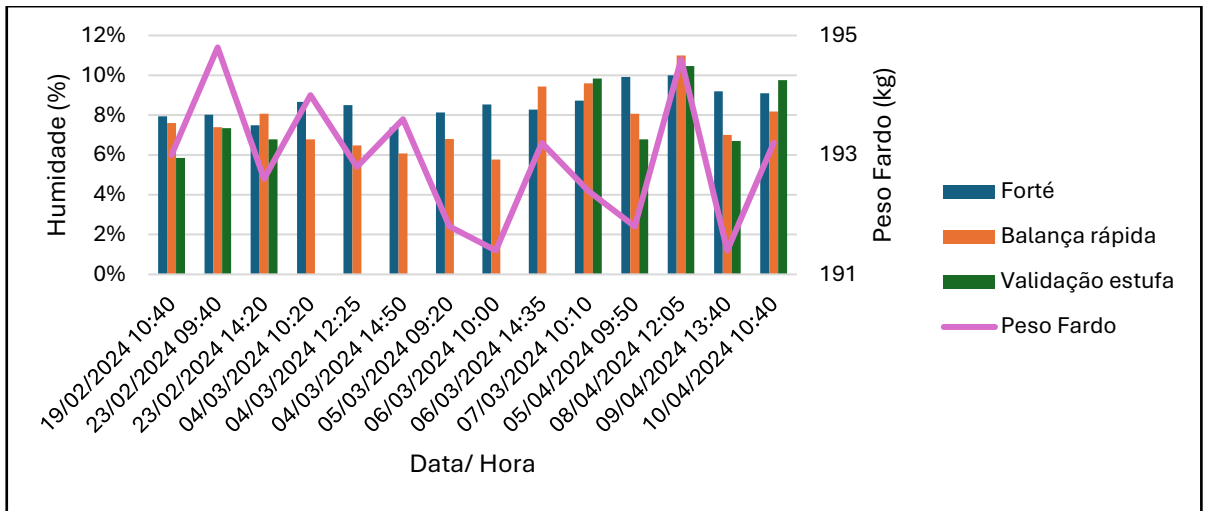


Figura III5 – Relação entre os 3 valores de humidade (Forté, balança rápida e validação em estufa) e peso do fardo 5

Anexo IV. Análise gráfica entre Δ Gramagem e Δ Humidade (balança rápida) com:

a. Média de gramagem (entre 5 fardos)

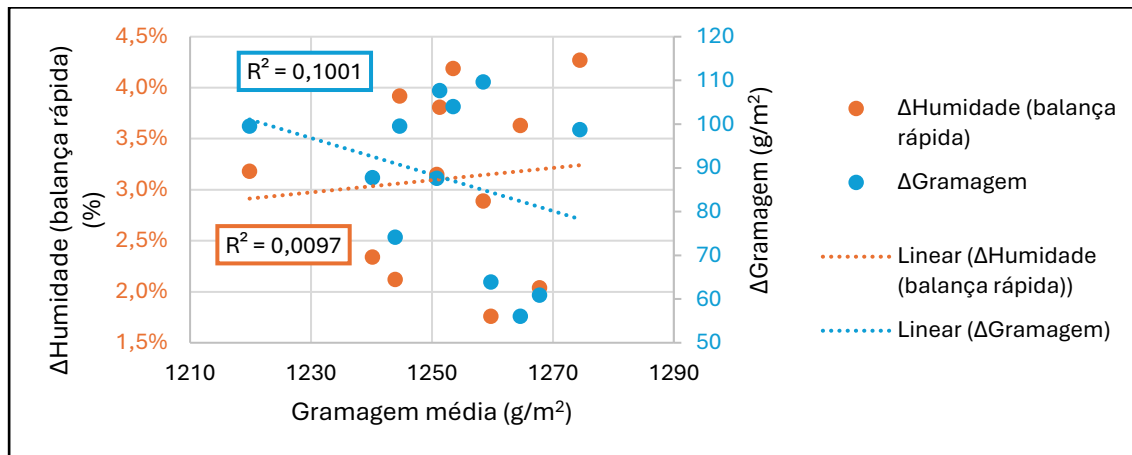


Figura IV1 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e gramagem média dos 5 fardos

b. Máximo de gramagem (entre 5 fardos)

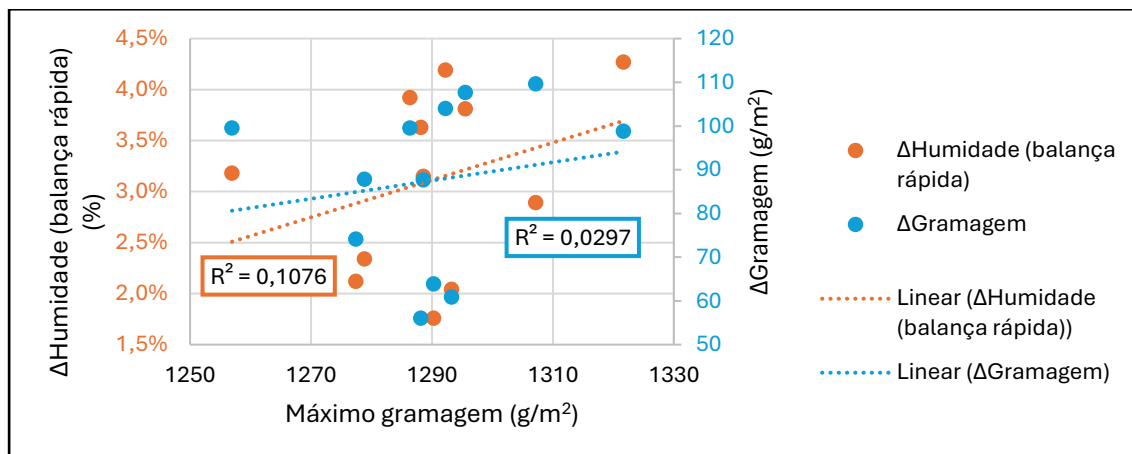


Figura IV2 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e máximo de gramagem dos 5 fardos

Anexo V. Análise gráfica entre Δ Gramagem, Δ Humidade (balança rápida) e pressões das prensas

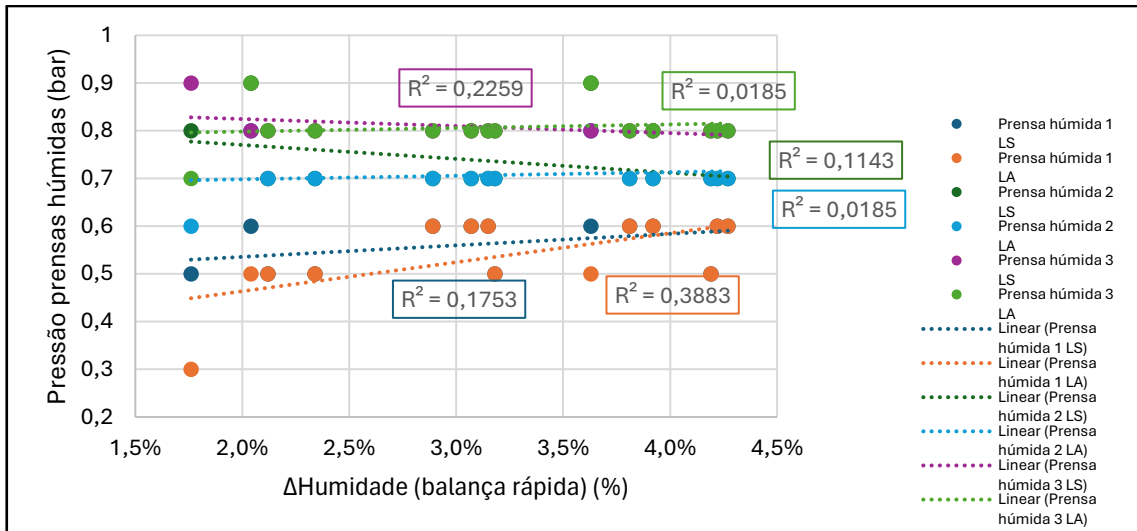


Figura V1 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão das prensas húmidas

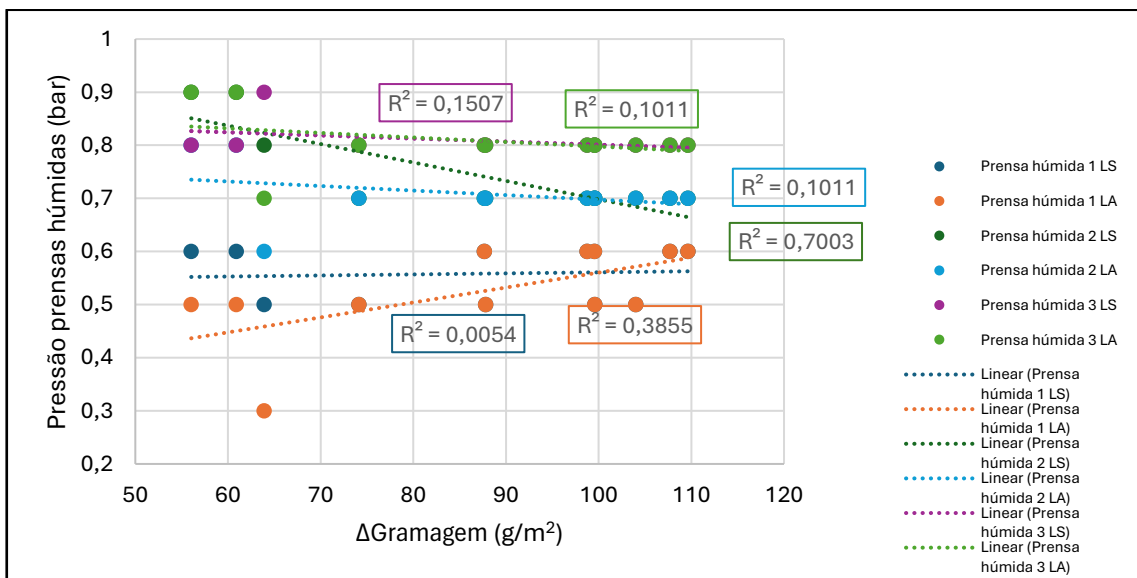


Figura V2 – Relação entre Δ Gramagem e pressão das prensas húmidas

Tabela V1: Impacto da troca de telas na correlação linear da pressão com as variáveis em estudo

Antes troca de telas		Após troca de telas	
R ² (ΔHumidade)	R ² (ΔGramagem)	R ² (ΔHumidade)	R ² (ΔGramagem)
0,3787	0,6237	0,1942	0,1857
0,3787	0,6237	0,1942	0,1857
0,3787	0,6237	0,0000	0,0000
0,3787	0,6237	0,0000	0,0000
0,3787	0,6237	0,0000	0,0000
0,3787	0,6237	0,0000	0,0000
0,3787	0,6237	0,1942	0,1857
0,3787	0,6237	0,1942	0,1857
0,3787	0,6237	0,0450	0,0304
0,0193	0,1423	0,0217	0,0327

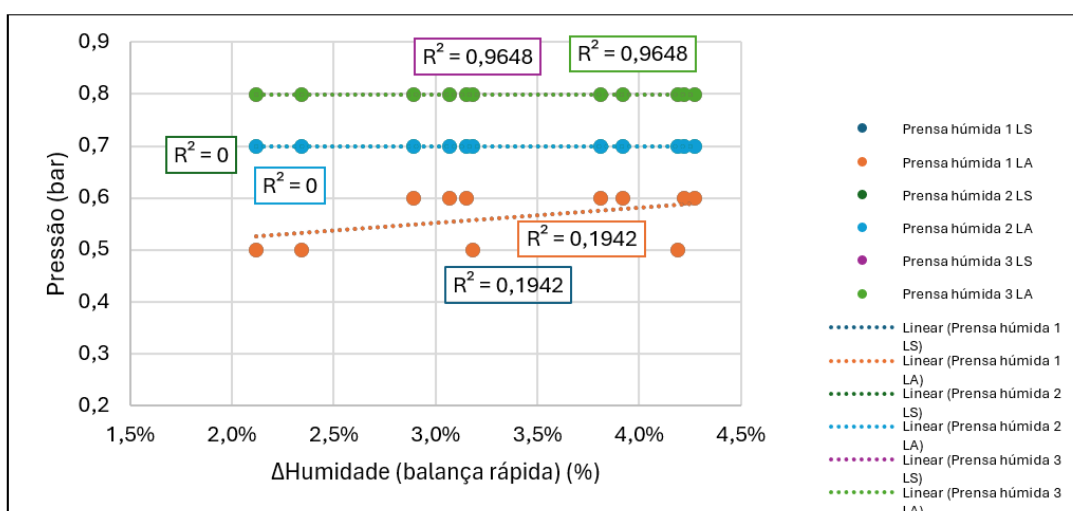


Figura V3 – Relação entre ΔHumidade (balança rápida) e pressão das prensas húmidas (antes da troca de telas)

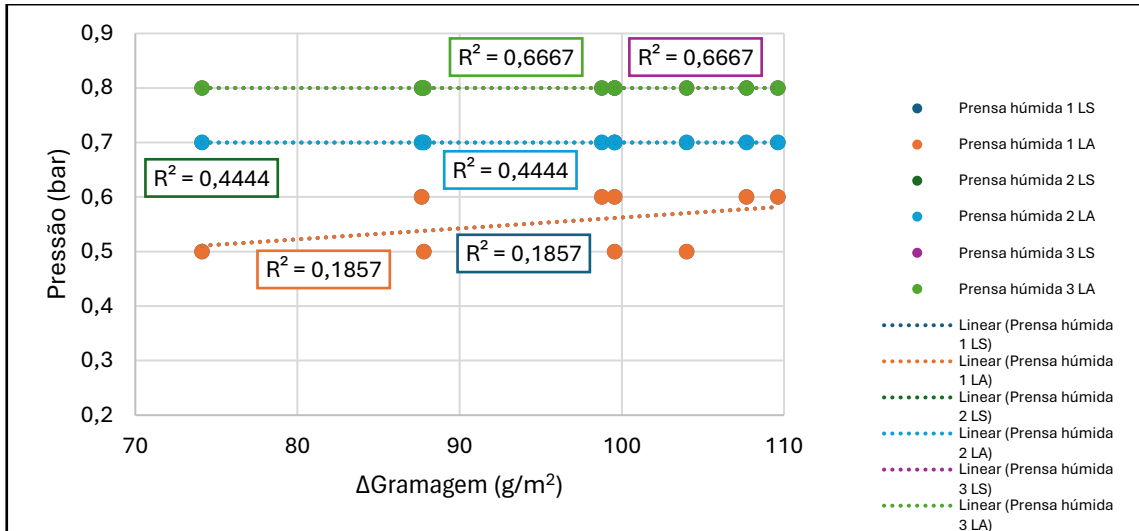


Figura V4 – Relação entre Δ Gramagem e pressão das prensas húmidas (antes da troca de telas)

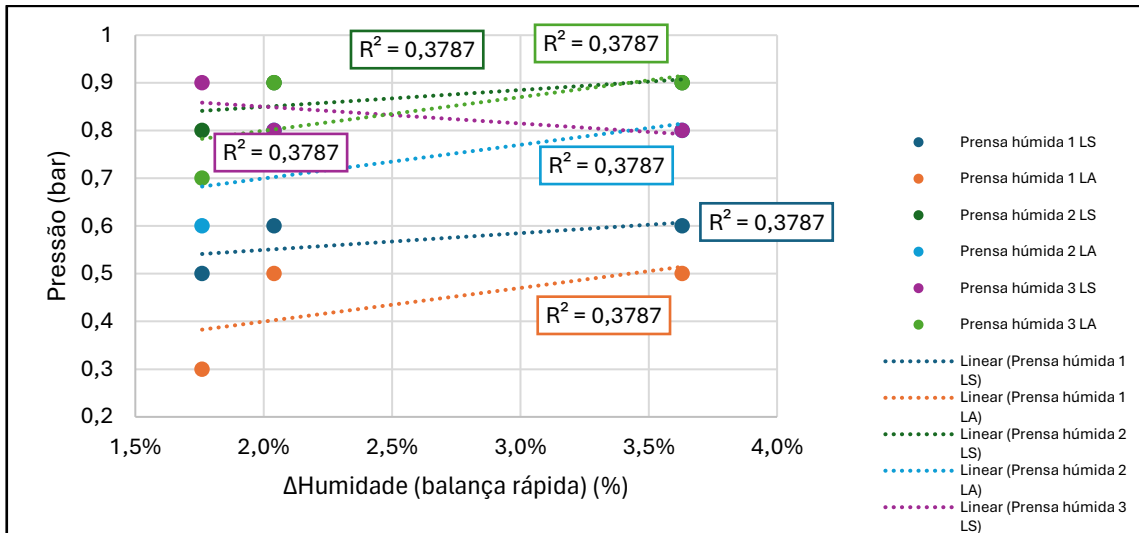


Figura V5 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão das prensas húmidas (depois da troca de telas)

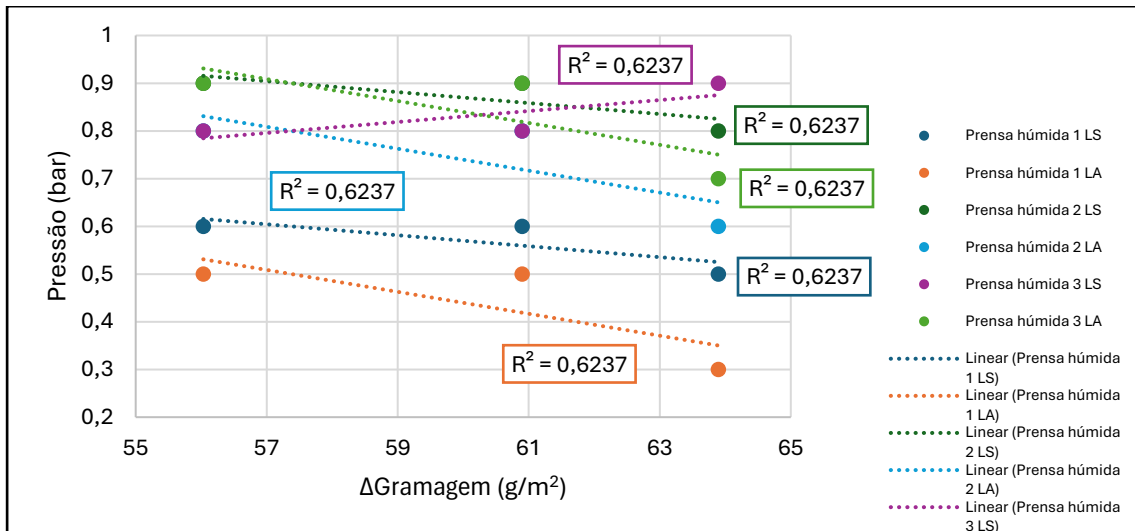


Figura V6 – Relação entre Δ Gramagem e pressão das prensas húmidas (depois da troca de telas)

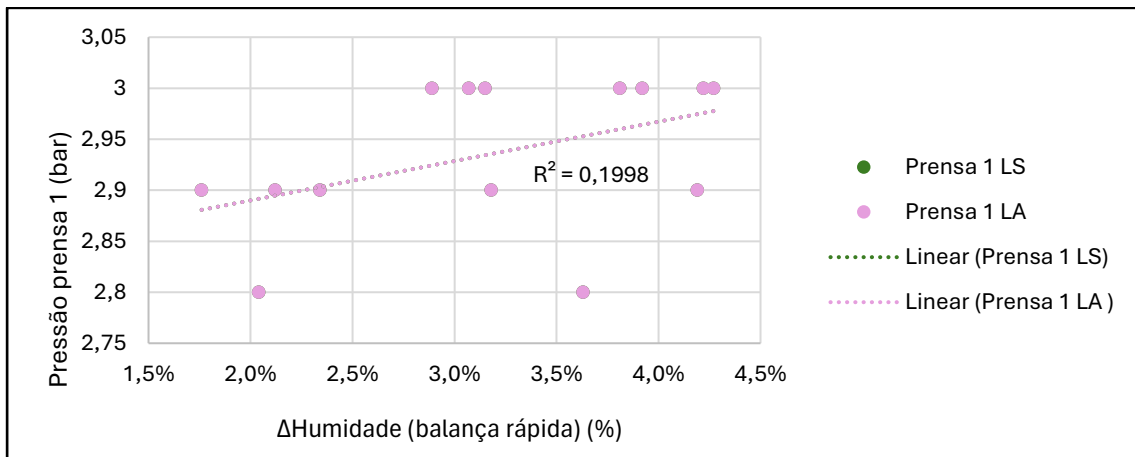


Figura V7 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida) e pressão da prensa 1

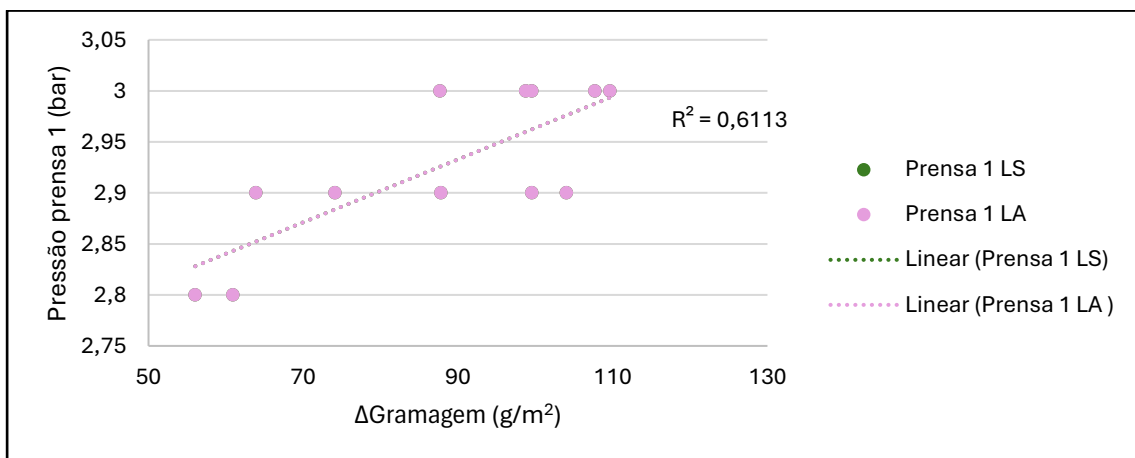


Figura V8 – Relação entre Δ Gramagem e pressão da prensa 1

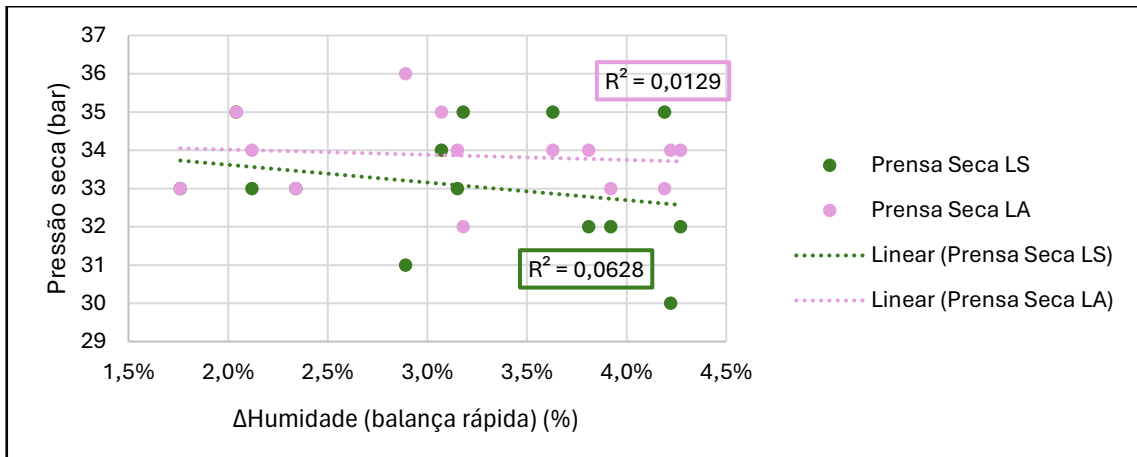


Figura V9 – Relação entre ΔHumidade (balança rápida) e pressão da prensa seca

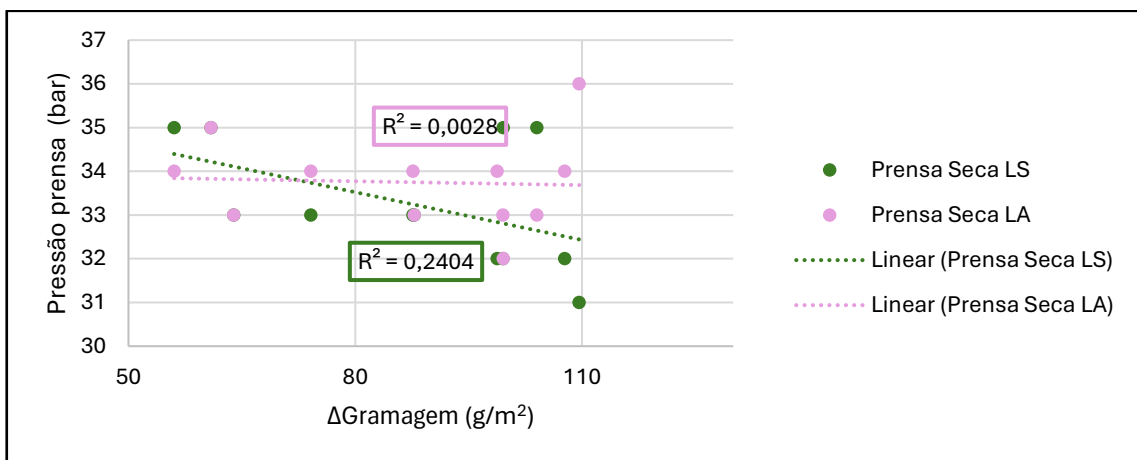


Figura V10 – Relação entre ΔGramagem e pressão da prensa seca

Anexo VI. Análise gráfica entre Δ Gramagem, Δ Humidade (balança rápida) e variáveis da máquina

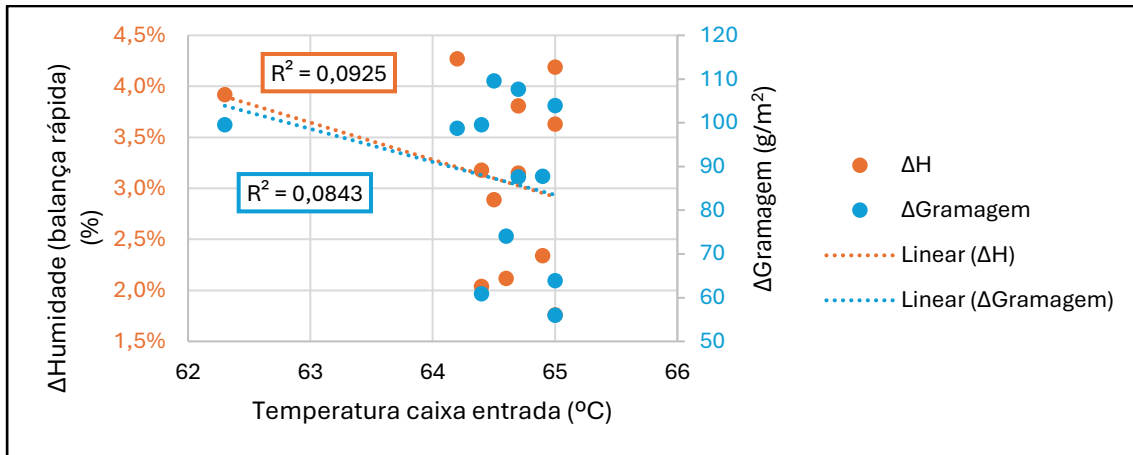


Figura VI1 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e Temperatura da caixa de entrada

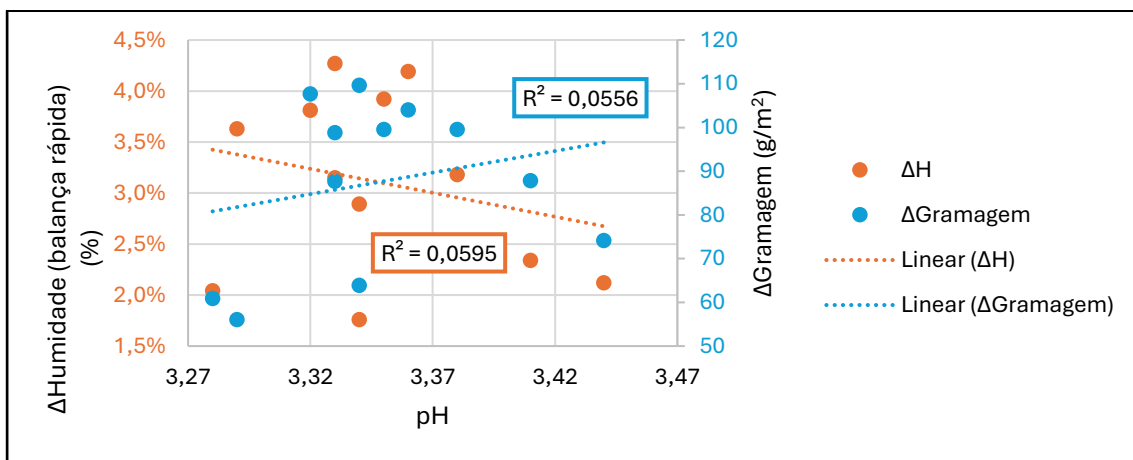


Figura VI2 – Relação entre Δ Humidade (balança rápida), Δ Gramagem e pH

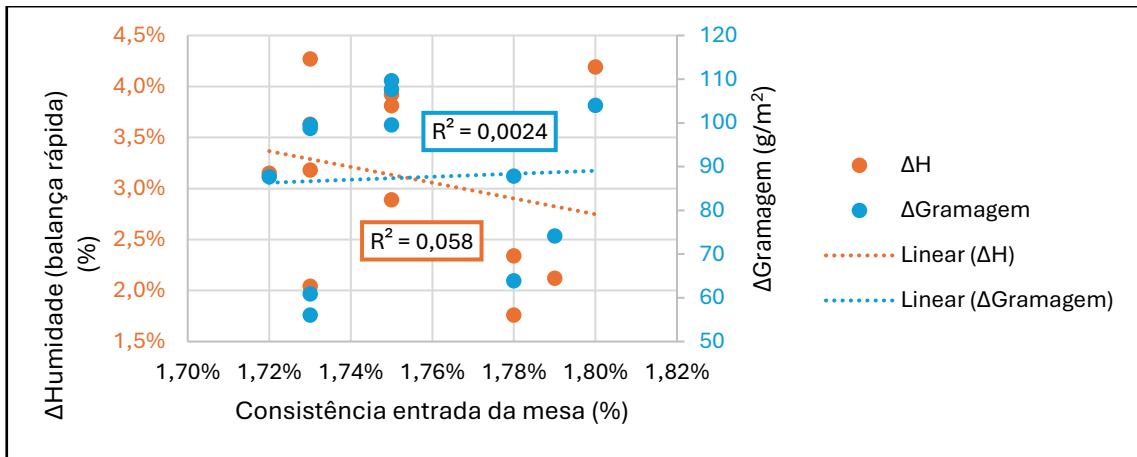


Figura VI3 – Relação entre ΔHumidade (balança rápida), ΔGramagem e Consistência de entrada da mesa

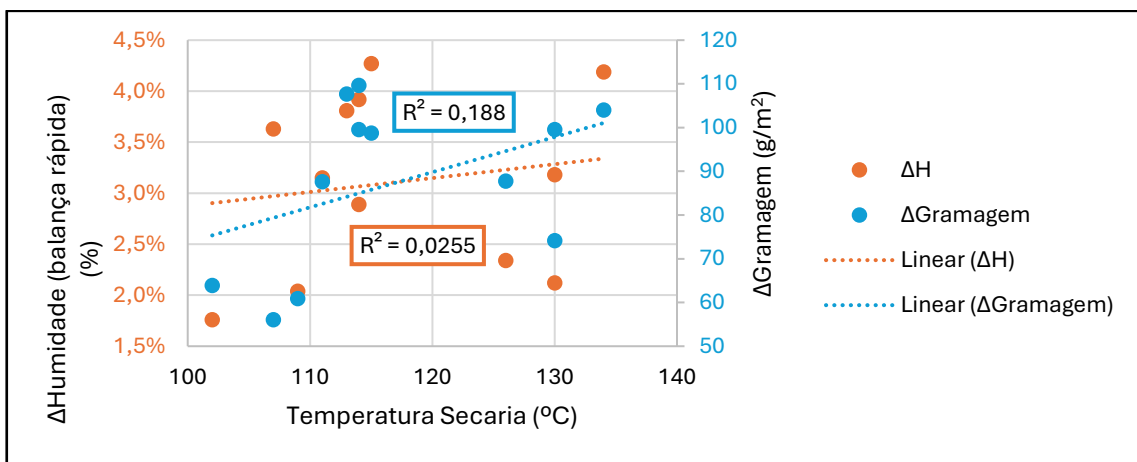


Figura VI4 – Relação entre ΔHumidade (balança rápida), ΔGramagem e Temperatura da Secaria

