UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL E MADEIRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

ADRIANA CECÍLIA FABRES DE SOUZA

ANÁLISE DO SISTEMA DE USINAGEM DOS BOCAIS DE FILTROS *PRESSURE DRUM WASHER* (PDW) NA INDÚSTRIA DE CELULOSE

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
2025

ADRIANA CECÍLIA FABRES DE SOUZA

ANÁLISE DO SISTEMA DE USINAGEM DOS BOCAIS DE FILTROS *PRESSURE DRUM WASHER* (PDW) NA INDÚSTRIA DE CELULOSE

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Industrial Madeireira.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por cada linha escrita da minha história, sem ele eu não estaria onde estou. Ele foi fundamental para que eu conseguisse seguir no caminho certo e não desistisse.

Agradeço por todo apoio da minha mãe, dona Angela Maria, a quem dedico essa graduação e diploma, sem ela eu não teria condições de ao menos iniciar no curso. Ela é minha maior inspiração e orgulho e por ela eu me mantive forte e segui em frente todos esses anos. Gostaria de agradecer a minha irmã, Angelina Luiza, por ter me motivado e incentivado a iniciar na graduação e por todo apoio, carinho e cuidado.

Agradeço a minha família Fabres que sempre me apoiou e me deu suporte para realizar meus estudos fora de casa.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos, tanto de Alegre – ES quanto os de Imperatriz - MA, que estiveram sempre presentes, em especial a Mariana Oliveira, que me deu muito apoio e teve paciência comigo durante todo processo.

Agradeço ao meu líder, Cassio Patrick, por me ajudar na construção do trabalho e por todo apoio psicológico durante não só a escrita do meu TCC quanto a todo período do meu estágio, obrigada por todo aprendizado que me ensinou a ser a profissional que sou hoje.

Agradeço aos meus professores que durante a graduação Rejane, Jordão, Humberto, Pedro, Juarez, Fabrício, Josinaldo, Graziela, Ananias, por todo ensinamento e coragem para seguir em frente e não desistir, em especial ao Michel que aceitou ser meu orientador da maneira repentina como foi.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ADRIANA CECÍLIA FABRES DE SOUZA

ANÁLISE DO SISTEMA DE USINAGEM DOS BOCAIS DE FILTROS *PRESSURE DRUM WASHER* (PDW) NA INDÚSTRIA DE CELULOSE

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 20 de agosto de 2025.
COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
MICHEL PICANCO OLIVEIRA
Data: 20/08/2025 11:09:39-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Michel Picanço de Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador

Documento assinado digitalmente
HUMBERTO FANTUZZI NETO
Data: 20/08/2025 12:48:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Humberto Fantuzzi Neto

Universidade Federal do Espírito Santo

Examinador

Documento assinado digitalmente
GABRIEL MENDONCA VALANE
Data: 20/08/2025 11:50:27-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ms. Gabriel Mendonça Valane
Universidade Federal do Espírito Santo

Examinador

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso visa apresentar uma solução técnica para o desgaste dos bocais dos filtros PDW (*Pressure Drum Washer*) utilizados na unidade da Suzano, no setor de papel e celulose. A deterioração desses componentes comprometia a vedação, permitindo a passagem de sólidos para o licor branco e prejudicando a qualidade do processo produtivo. A abordagem proposta envolveu a adaptação de uma biseladora em uma mandriladora, executada internamente pela equipe da empresa, o que eliminou a necessidade de terceirizar o serviço. Essa intervenção resultou em maior precisão na usinagem, diminuição dos custos operacionais, aumento da confiabilidade do sistema e capacitação da equipe técnica. Os resultados mostraram uma melhoria significativa na vedação dos bocais, redução dos sólidos no licor branco e uma economia estimada em R$ 385.000,00 por filtro, além de benefícios em sustentabilidade e autonomia industrial.

Palavras-chave: *usinagem; filtros PDW; licor branco; manutenção industrial; celulose.*

ABSTRACT

This undergraduate thesis aims to present a technical solution to the wear of the nozzles on PDW (*Pressure Drum Washer*) filters used at Suzano's pulp and paper unit. The degradation of these components compromised sealing and allowed solid particles to pass into the white liquor, negatively impacting the quality of the production process. The proposed solution involved adapting a bevelling machine into a boring machine, a modification carried out internally by the company's team, thus eliminating the need for outsourced services. This intervention resulted in greater machining precision, reduced operational costs, increased system reliability, and technical team development. The results showed significant improvements in nozzle sealing, a reduction in solids in the white liquor, and estimated savings of R$ 385,000.00 per filter, in addition to gains in sustainability and industrial autonomy.

Keywords: *machining; PDW filters; white liquor; industrial maintenance; pulp*

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO ---------- 10
2.JUSTIFICATIVA DO PROJETO ---------- 12
3.OBJETIVOS ---------- 13
3.1 Objetivo geral ---------- 13
3.2 Objetivos específicos ---------- 13
4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ---------- 14
4.1 Processo de produção da celulose ---------- 14
4.1.2 Recuperação química ---------- 16
4.1.3 Caustificação ---------- 18
4.2 Importância da usinagem do PDW ---------- 20
5.MATERIAIS E MÉTODOS ---------- 22
5.1 Caracterização do estudo ---------- 22
5.2 Montagem da mandriladora ---------- 22
5.3 Materiais usados ---------- 25
6.RESULTADOS E DISCUSSÕES ---------- 27
6.1 Análise dos Indicadores Operacionais ---------- 27
6.2 Implementação da Mandriladora ---------- 31
6.3 Consequências da adaptação da mandriladora ---------- 33
7.CONCLUSÃO ---------- 35
8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ---------- 35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de preparação de madeira no pátio. 13
Figura 2 - Fluxo de produção de celulose. 14
Figura 3 - Polpa durante as etapas de depuração e pré-branqueamento 15
Figura 4 - Ilustração da unidade de recuperação 16
Figura 5 - Circuito do licor. 17
Figura 6 - Ciclo do processo de caustificação 17
Figura 7 - Telas dos bocais do filtro PDW 18
Figura 8 - Biseladora. 21
Figura 9 - Informações de compra da biseladora 21
Figura 10 - Montagem da biseladora. 22
Figura 11 - Mandriladora adaptada. 23
Figura 12 - Bocais sendo usinados manualmente. 25
Figura 13 - Bocais danificados. 26
Figura 14 - Informações de agrupamento usando o Método de Tukey. 28
Figura 15 - Bocais usinados. 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média da quantidade de sólidos suspensos e o consumo do ácido sulfúrico no ano de 2023.------27
Tabela 2 - Custos mensais com ácido sulfúrico no ano de 2023. ----------30
Tabela 3 - Média da quantidade de sólidos suspensos e o consumo do ácido sulfúrico no ano de 2024.------31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PDW	*Pressure Drum Washer* – Filtro de Licor Branco
PDG	*Pressure Disc Green* – Filtro de Licor Verde
LMCD	*Lime Mud Compressed Disc* – Filtro de Lama de Cal
NaOH	Hidróxido de sódio
Na_2CO_3	Carbonato de sódio
CaO	Óxido de cálcio
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de cálcio
Na_2S	Sulfeto de sódio.

1. INTRODUÇÃO

A fabricação de celulose branqueada a partir de eucalipto inclui três etapas principais: picagem, cozimento pelo processo kraft e branqueamento. Tal processo necessariamente precisa ser baseado em uma compreensão profunda dos aspectos técnicos e, em particular, da conexão entre a qualidade da madeira e as tecnologias adotadas. Durante o processo de branqueamento, a seleção de reagentes e o controle rigoroso das condições operacionais são essenciais para alcançar bons resultados sem danificar a estrutura da celulose (Latorraca, 2000).

O setor de celulose e papel é um participante-chave na provisão de insumos para outras cadeias produtivas. No Brasil, destaca-se pelo uso do eucalipto, que oferece uma excelente qualidade para celulose de alto desempenho. Na opinião de Batista (2018), a competitividade e produtividade da indústria brasileira baseiam-se na adoção de tecnologias inovadoras e práticas sustentáveis que promovem o uso racional dos recursos florestais.

Na planta da Suzano em Imperatriz (MA), foi detectado um problema nos bicos do PDW (Filtro de Licor Branco), causando comprometimento da vedação e passagem de sólidos para o licor filtrado. Segundo Bastos e Afonso (2015), em processos de separação sólido-líquido, a eficiência do trabalho é crucial para obter um produto final de boa qualidade, e falhas nesta etapa do processamento podem causar sérios danos à produtividade da planta.

A investigação técnica comprovou que os bicos apresentaram falha prematura devido ao desgaste químico causado pela lavagem ácida e/ou montagem dos setores de filtragem. Pesquisas do BNDES mostram que a inovação tecnológica na tecnologia de celulose pode aumentar a eficiência da produção e reduzir o custo de produção, particularmente na manutenção e recuperação de equipamentos (Bnds, 2021). Foi recomendada a utilização de uma máquina de chanfrar, uma máquina para usinagem automática de bicos, que proporciona maior precisão dimensional e melhor eficiência de vedação.

Esta aquisição da máquina de chanfrar é um movimento estratégico para a Suzano, pois permite a internalização do processo de usinagem, reduzindo o uso de serviços de terceiros e melhorando a confiabilidade operacional do sistema.

2. JUSTIFICATIVA DO PROJETO

O tema escolhido para o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é motivado pela importância das questões relacionadas à degradação dos bicos dos filtros de licor branco (PDW) em uma indústria de celulose e papel, Suzano.

O trabalho se justifica pela necessidade de otimizar a usinagem dos bicos dos filtros PDW da unidade de Suzano, um grupo multinacional de celulose. Constatou-se que os bicos nos setores dos filtros estavam se desgastando rapidamente e a boa vedação nos setores foi destruída, o que, por sua vez, causou a entrada de sólidos suspensos no licor branco.

Com tal situação em mente, foi realizada uma modificação de uma máquina de chanfrar como uma máquina de mandrilar para usinar os bicos danificados de forma mais precisa e eficaz. Esta intervenção técnica teve um caráter estratégico não apenas pelo resultado positivo relacionado à confiabilidade do equipamento e ausência de falhas operacionais, mas também por uma grande redução de custos, já que o serviço era contratado externamente com uma empresa parceira na qual, no entanto, havia altos custos e dependência externa para manter um componente crítico do processo industrial.

Portanto, a pesquisa se justifica pela necessidade de soluções práticas que favoreçam maior autonomia operacional, economia de recursos e melhoria contínua dos processos internos, alinhados à produtividade, sustentabilidade e excelência, que orientam a indústria de celulose e papel.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi fazer a análise quantitativa e qualitativa do desenvolvimento um sistema de recuperação de bocais do tambor de Filtro de licor branco a fim de mitigar a ocorrência de falhas de passagem de sólidos entre seus setores e bocais que podem contaminar o licor branco coletado.

3.2 Objetivos específicos

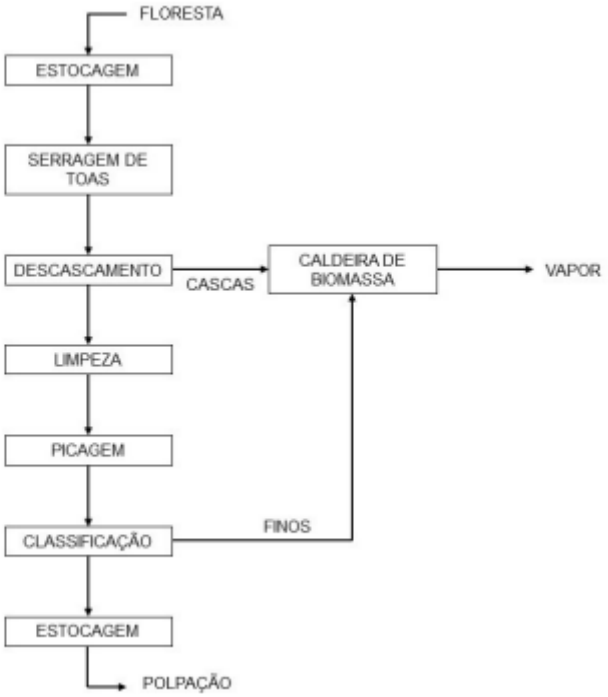
- Avaliar os custos envolvidos de empresas parceiras para usinagem de campo;
- Avaliar a qualidade da recuperação dos bocais do tambor do filtro de licor branco;
- Redução de tempo de serviço e mão de obra;
- Automatizar e padronizar do processo de usinagem
- Avalizar a confiabilidade e reprodutibilidade.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Processo de produção da celulose

A produção da celulose começa com a seleção e preparação da matéria-prima, geralmente madeira de eucalipto, que se destaca por suas características físico-químicas favoráveis à fabricação do produto (Zanuncio et al., 2011; Demuner et al., 1990). Na Figura 1 mostra que no pátio industrial, a madeira é recebida, classificada por densidade, espécie e idade, e armazenada para garantir qualidade e rastreabilidade do material (Gonçalves, 2016). Posteriormente, os troncos passam pelo processo de corte e descascamento, sendo triturados em cavacos adequados para o cozimento, enquanto a casca e resíduos são aproveitados na geração de energia na caldeira de biomassa (Lima, 2017; Filipin, 2024).

Figura 1 - Fluxograma do processo de preparação de madeira no pátio.



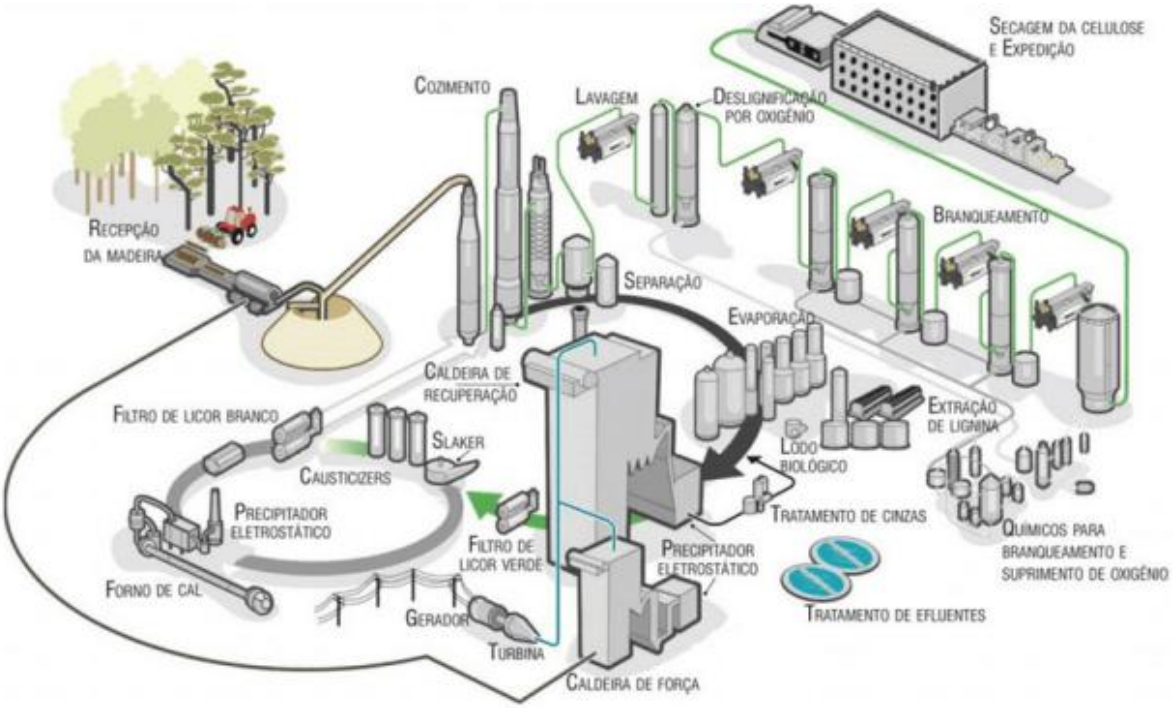
Fonte: Filipin, 2024

A etapa de polpação, realizada principalmente pelo processo Kraft, consiste no cozimento dos cavacos em uma solução alcalina conhecida como licor branco, composta por NaOH e Na_2S. Esse processo visa dissolver a lignina, elemento que liga as fibras celulósicas, permitindo sua separação (Ramos et al., 2024; Lengowski, 2021). O cozimento é realizado em digestores contínuos que controlam parâmetros como temperatura, pressão e tempo, sendo o número Kappa utilizado para medir a eficiência da remoção de lignina (Macedo, 2006; Batista, 2018). A qualidade do licor branco,

mantida por equipamentos como o filtro PDW, é essencial para a eficiência do processo, evitando contaminações e garantindo a estabilidade operacional (Ribeiro, 2005; Valmet).

Na Figura 2 pode ser observado o fluxo de produção de celulose em uma fábrica de celulose.

Figura 2 - Fluxo de produção de celulose



FONTE: Produção de Celulose e Sistema Kraft, 2023.

Após o cozimento, a polpa marrom obtida ainda contém impurezas fibrosas e não fibrosas que podem afetar a qualidade da celulose e o funcionamento dos equipamentos. A depuração remove esses resíduos por meio de processos físicos baseados em separação por peso ou tamanho, em etapas grossa e fina, buscando alta pureza com mínimo desperdício de fibras (Campos, 2011; Filipin, 2024). Essa etapa prepara a polpa para as fases seguintes, garantindo melhor desempenho na lavagem e na deslignificação.

A lavagem é responsável por extrair o licor negro residual, uma solução que contém lignina dissolvida, ácidos orgânicos e reagentes químicos usados no cozimento (Foelkel, 2024). Utilizando equipamentos como lavadores de estágio e prensas em contracorrente, o processo separa eficientemente a polpa do licor, que é enviado para a planta de recuperação química para concentração e queima (Polowski, 2012). A eficácia dessa etapa é fundamental para evitar que resíduos prejudiquem o branqueamento e permitam a recuperação de químicos, reforçando a sustentabilidade do processo.

Na etapa de deslignificação, busca-se remover a lignina residual ainda presente na polpa após o cozimento, melhorando sua qualidade para o branqueamento e reduzindo o consumo de reagentes químicos (Verson et al., 2015). Normalmente realizada em meio alcalino com hidróxido de sódio, a

deslignificação promove a quebra das ligações da lignina, podendo eliminar até metade da lignina remanescente. Essa etapa é uma extensão do cozimento e fundamental para a produção de celulose com alta pureza.

Figura 3 - Polpa durante as etapas de depuração e pré-branqueamento

Fonte: Reis (2013)

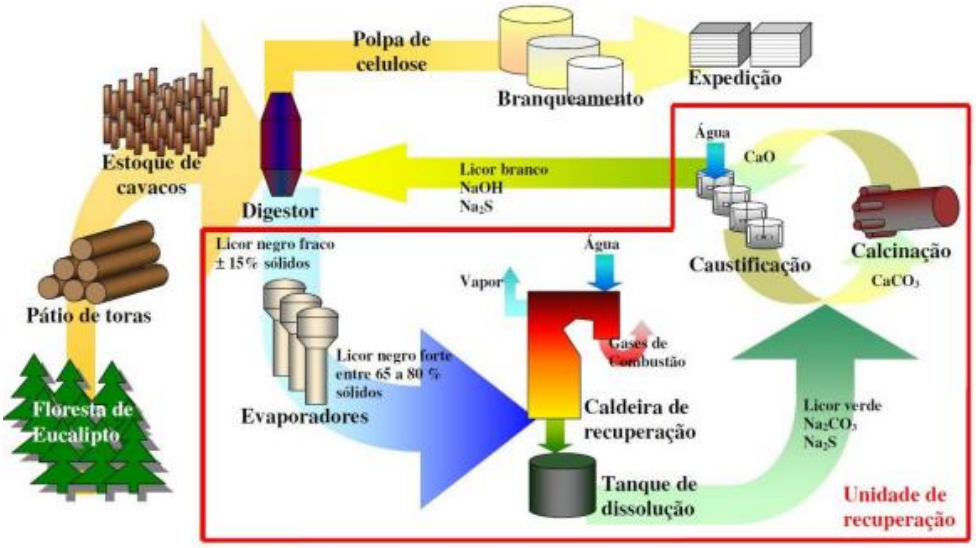
O branqueamento é a fase final do processo químico, cujo objetivo é remover qualquer lignina residual para alcançar o grau de alvura necessário para usos específicos, como na fabricação de papel de alta qualidade (Moura, 2024). Geralmente, múltiplos agentes químicos oxidantes e alcalinos são usados, como dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio e ozônio, com monitoramento constante dos parâmetros de qualidade, como o número Kappa e a alvura da polpa. Tecnologias alternativas, como o biobranqueamento com enzimas, têm ganhado espaço por oferecerem processos mais sustentáveis (Pavan, 2024).

A secagem retira a umidade da polpa após o desaguamento mecânico, sendo uma etapa crítica em termos de consumo energético (Vieira, 2006). O controle de temperatura e fluxo de ar é fundamental para garantir a secagem adequada, evitando danos à celulose. Após essa etapa, a celulose é prensada, cortada e enfardada para armazenamento e transporte.

4.1.2 Recuperação química

No processo de produção de celulose, a recuperação química, mostrado na Figura 4 A regeneração do licor branco ocorre após a queima do licor negro na caldeira de recuperação, gerando o smelt — uma mistura fundida de compostos inorgânicos — que é dissolvido no licor branco fraco para formar o licor verde. Este, por sua vez, passa pela etapa de caustificação, onde reage com cal virgem (CaO) para formar novamente o licor branco e precipitar carbonato de cálcio ($CaCO_3$), conhecido como lama de cal (Filipin, 2024).

Figura 4 - Ilustração da unidade de recuperação



Fonte: Passini, 2017.

A qualidade do licor branco é crítica para o desempenho do digestor, sendo necessário que ele tenha baixos níveis de sólidos suspensos e alta concentração de álcali efetivo. Para isso, utiliza-se o filtro PDW (Pressure Drum Washer), um equipamento que realiza a clarificação do licor branco por meio de filtração pressurizada (Ribeiro, 2005). O filtro PDW é projetado para separar eficientemente a lama de cal do licor branco, garantindo um filtrado com alta pureza e reduzido teor de impurezas. Essa clarificação é fundamental para evitar incrustações nos equipamentos e garantir a estabilidade do processo de cozimento (Valmet). Além disso, a correta manutenção e operação dos filtros garantem a qualidade do licor branco, evitando contaminações que possam comprometer a eficiência do cozimento da celulose.

Os filtros PDW são referidos como componentes estratégicos que são úteis para a purificação de líquidos que são manipulados em diferentes estágios de produção. A tecnologia de filtragem eficaz leva a uma redução de impurezas, o que, por sua vez, resulta em uma melhor qualidade do produto final, enquanto menos recursos são utilizados. Além disso, também é mencionado no artigo que o uso de inovações tecnológicas, como o uso de ingredientes de filtro mais duráveis, aumentaria a vida útil dos filtros, bem como a retenção de material particulado.

Figura 5 - Circuito do licor.

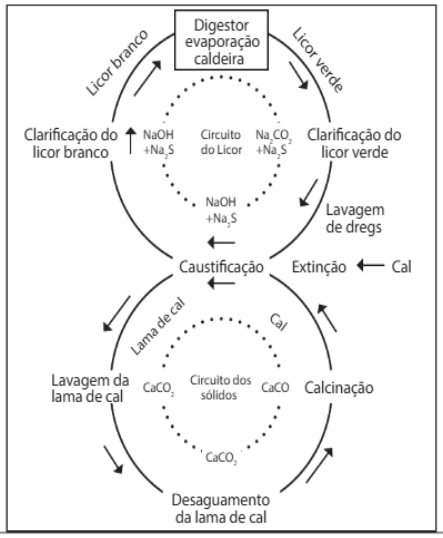
Etapas	Objetivo
Clarificação de licor verde	Para remoção substancial de todos sólidos suspensos chamados dregs.
Lavagem de dregs	Para remover a soda residual dos sólidos sedimentados, antes da descarga residual.
Extinção e caustificação	Para extinção de cal viva e sua reação para produção de licor branco
Clarificação de licor branco	Para remoção substancial de todos os sólidos suspensos, proporcionando um licor de cozimento de clareza adequada (50 a 100 ppm de sólidos suspensos).
Acabamento no licor branco	Para maior remoção dos sólidos remanescentes, quando desejado.

Fonte: (Alves et al., 2015).

4.1.3 Caustificação

A caustificação representa uma fase crucial no ciclo de recuperação química do processo Kraft, conforme ilustrado na figura 6. Essa etapa é responsável pela transformação do licor verde, que é predominantemente composto por carbonato de sódio (Na_2CO_3) e sulfeto de sódio (Na_2S), em licor branco, que contém hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio, reagentes essenciais para o cozimento da madeira no digestor (Bonomi et al., 1985; LEE et al., 2019). A conversão ocorre através da reação entre o carbonato de sódio e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), resultando na formação de hidróxido de sódio e carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que posteriormente é calcinado no forno de cal para regenerar o óxido de cálcio (CaO). Este processo é realizado em uma série de reatores, começando com a hidratação da cal e seguindo para a reação de caustificação (Reis, 2021).

Figura 6 - Ciclo do processo de caustificação



Fonte: (Alves et al., 2015).

No processo de recuperação química da celulose, o “smelt” proveniente da caldeira é dissolvido em água e licor branco fraco no tanque de dissolução, formando o licor verde, composto principalmente por água, carbonato e sulfeto de sódio. Esse licor, ainda com elevada carga de sólidos inertes, os *dregs,* é denominado licor verde bruto. Antes de seguir para a caustificação, esses sólidos são removidos por decantação ou filtração, e posteriormente lavados para recuperar o álcali residual. O resultado é o licor verde clarificado, pronto para a geração do licor branco forte que será reutilizado no digestor.

Figura 7 - Telas dos bocais do filtro PDW

Fonte: Autor.

A caustificação é fundamental para o fechamento do ciclo químico no processo de produção de celulose pelo método Kraft, pois é nesta etapa que o licor verde se converte em licor branco, um reagente indispensável para o cozimento da madeira no digestor. A taxa dessa conversão impacta diretamente a qualidade do licor branco e, consequentemente, a estabilidade do processo na planta. Um sistema de caustificação bem ajustado permite uma redução no uso de cal virgem e combustíveis fósseis, além de minimizar os impactos ambientais adversos associados ao uso de lama de cal (Castro 2009).

4.2 Importância da usinagem do PDW

A usinagem dos filtros de PDW em uma fábrica de celulose é fundamental para garantir a eficiência produtiva e a qualidade do produto final, pois assegura precisão dimensional, acabamento adequado e maior durabilidade dos componentes, reduzindo falhas operacionais e custos de manutenção. Além disso, o uso de técnicas avançadas, como torneamento e fresagem CNC (controle numérico computadorizado), permite a fabricação de peças altamente padronizadas, otimizando a

retenção de impurezas e a filtragem dos fluidos do processo industrial. Dessa forma, a usinagem não apenas melhora o desempenho dos filtros, mas também contribui para a sustentabilidade ao minimizar desperdícios e otimizar o uso de materiais (Ferreira, 2013). A eficiência da manutenção em processos de usinagem está diretamente ligada à preservação da precisão e da qualidade das peças produzidas. Máquinas bem mantidas, com ferramentas adequadas e sistemas de lubrificação eficazes, garantem menor desgaste, maior estabilidade térmica e cinemática, além de reduzir falhas operacionais. A escolha correta dos fluidos de corte e o controle dos parâmetros de operação são fundamentais para prolongar a vida útil dos equipamentos e assegurar a confiabilidade do processo produtivo. (Alcantara [s.d.]).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização do estudo

Este trabalho configura-se como uma análise qualitativa do licor branco, realizado na unidade industrial da Suzano, localizada em Imperatriz (MA), uma das maiores fábricas de papel da atualidade, com produção contínua de 5.000 toneladas por dia. O objetivo desta metodologia é analisar o impacto das falhas nos bocais do filtro de licor branco (PDW) sobre o processo de filtração e propor melhorias técnicas e operacionais que garantam maior eficiência e confiabilidade ao sistema.

A análise considerou os impactos operacionais e financeiros decorrentes da falha, como o custo de R$ 322.000,00 com a contratação de serviço externo. A avaliação da eficácia da solução adotada, foi realizada com base em inspeções visuais e análise da redução da passagem de sólidos para o licor branco filtrado. Como complemento à análise qualitativa, foram considerados indicadores técnicos como tempo de parada, para manutenção dos bocais do filtro, eficiência de vedação e conformidade dimensional dos bocais.

A metodologia aqui descrita apresenta potencial de aplicação em outras unidades industriais que operam com filtros PDW ou enfrentam falhas similares em equipamentos críticos. Dessa forma, contribui para a padronização de soluções técnicas, a otimização das rotinas de manutenção e o aumento da confiabilidade operacional no setor de papel e celulose. Para realização dessa análise foi realizada uma adaptação de uma biseladora para uma mandriladora com a finalidade de padronizar a usinagem e garantir a minimização da passagem dos sólidos suspensos para o licor branco.

5.2 Montagem da mandriladora

Para a montagem da mandriladora foi necessário a compra de uma biseladora (Figura 8), que teve um custo de R$ 74.444,10 para a Suzano (Figura 9). Ela foi levada ao Fabricar (local onde se fabrica, modifica e consertam peças dentro da Suzano), a equipe de usinagem, para que fosse feita as modificações sem custos adicionais.

Figura 8 - Biseladora.

Fonte: Aramat [s.d.].

Figura 9 - Informações de compra da biseladora

6018 Fornecedor 247997 QATAR COMERCIO MATERI... Data doc. 03.07.2024

Material	Texto breve	Qtd.pedido	UMP	C	Dt.remessa	Preço líq.
0027241797	BISELADORA P/TUB INT TW200ELETRICO2...	1	PC	D	02.08.2024	76.444,10

Fonte: Autor

Para transformar uma biseladora em uma mandriladora, foi realizado um processo de adaptação mecânica e funcional planejada pela Equipe do Fabricar da Suzano. Inicialmente, foi feita uma avaliação estrutural completa da biseladora, com o objetivo de verificar se sua base e componentes principais apresentavam rigidez e estabilidade suficientes para suportar os esforços gerados durante o mandrilamento, que são geralmente superiores aos exigidos no biselamento. Em seguida, foi removido o cabeçote original da biseladora, que era projetado para suportar ferramentas de chanframento, um corte inclinado ou uma borda em ângulo, e em seu lugar foi instalado um novo sistema de fixação, capaz de acomodar os bocais de mandrilamento. Esse novo cabeçote foi projetado para permitir o avanço axial da ferramenta de corte com precisão, o que é essencial para a usinagem interna de furos com tolerâncias apertadas.

Para garantir o movimento controlado da ferramenta, foi implementado um sistema de avanço. Além disso, foi necessário adaptar o sistema de fixação da peça a ser mandrilada. Como a biseladora original era projetada para trabalhar com tubos posicionados externamente, foi desenvolvido um dispositivo de centralização e fixação interna, garantindo que a peça permanecesse perfeitamente alinhada com o eixo da ferramenta durante toda a operação, para que se adapte a usinagem nos bocais. Todo o processo foi conduzido pela equipe técnica especializada do Fabricar e foram utilizadas para realização dessa adaptação os tornos mecânicos e máquinas de CNC.

A adaptação foi realizada por colaborador com conhecimento em mecânica de precisão, automação e segurança industrial, assegurando que a adaptação fosse realizada de forma eficiente, segura e com excelente desempenho funcional.

Figura 10 - Montagem da biseladora.

Fonte: Autor.

Após todas as etapas de modificação e ajustes, a biseladora adaptada foi finalizada com sucesso, apresentando um novo conjunto funcional que permitiu sua operação como mandriladora. A estrutura final da máquina, como mostrado na Figura 11, evidenciou a integração precisa dos componentes instalados, incluindo o cabeçote com suporte para a barra de mandrilamento. A máquina passou por testes operacionais, nos quais demonstrou excelente desempenho, precisão no corte interno e estabilidade durante o funcionamento, validando a eficácia do processo de adaptação realizado.

Figura 11 - Mandriladora adaptada.

Fonte: Autor.

5.3 Materiais usados

Para alcançar essa adaptação, foi necessário utilizar materiais com resistência mecânica, precisão e durabilidade durante os procedimentos. Os componentes estruturais da adaptação foram feitos com aço inoxidável AISI 304 e AISI 316, em partes que eram menos exigentes mecanicamente. Tanto buchas quanto flanges de fixação foram usadas para unir a máquina de chanfrar com o eixo da máquina de mandrilar com precisão — geralmente feitas de aço ou ferro fundido.

Com o objetivo de promover maior economia e reduzir o custo de montagem da máquina de mandrilar, foram escolhidos materiais recicláveis. Como estes estavam disponíveis para descarte pela equipe da Fabricar Suzano Imperatriz, essa abordagem eliminou a necessidade de comprar matéria-prima nova, além de ser um passo em direção à redução de resíduos e à sustentabilidade na produção. Os seguintes estão entre os materiais reciclados em questão:

- Aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 316, que é usado por sua excelente resistência à corrosão e boa conformabilidade, especialmente em ambientes sujeitos à umidade ou agentes químicos. O AISI 316, em particular, oferece maior resistência a cloretos, tornando-o ideal para aplicações mais severas.

- O aço SAE 4340 também foi utilizado, sendo este um aço de liga de alta resistência com excelente resistência mecânica e tenacidade. É amplamente utilizado em componentes estruturais que requerem alta durabilidade e bom desempenho sob cargas. A capacidade de tratamento térmico o torna bastante adequado para partes críticas da máquina de mandrilar.

Além disso, para garantir a estabilidade e o funcionamento adequado da montagem, serão utilizados parafusos de alta resistência (classe 8.8 ou superior), bem como rolamentos ou guias

lineares. Também é o caso de que elementos de transmissão, como polias ou engrenagens, são essenciais. A adaptação garantiu um bom alinhamento da ferramenta com o eixo da máquina de mandrilar e, portanto, a ausência de montagem, vibração que poderia afetar a qualidade do chanfrado.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta de dados foi realizada por meio de observação direta, registros fotográficos, relatórios técnicos de manutenção e desenhos mecânicos dos bocais. A análise considerou também os impactos operacionais e financeiros decorrentes da falha, como o custo de R$ 322.000,00 com a contratação de serviço externo. A avaliação da eficácia da solução adotada, usinagem dos bocais por empresa especializada, foi realizada com base em inspeções visuais, testes operacionais do filtro PDW e análise da redução da passagem de sólidos para o licor branco filtrado. Como complemento à análise qualitativa, foram considerados indicadores técnicos como tempo de parada, eficiência de vedação e conformidade dimensional dos bocais.

6.1 Análise dos Indicadores Operacionais

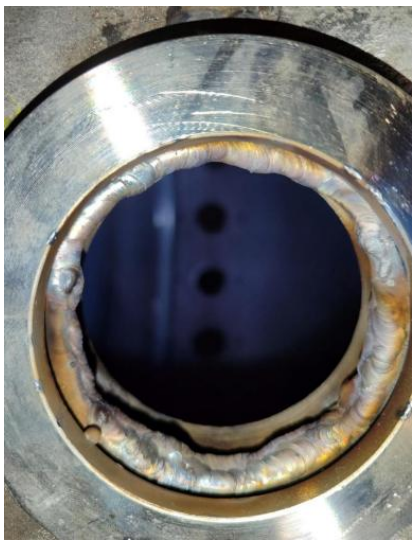
A manutenção dos bocais era feita de forma manual com a solda TIG (*Tungsten Inert Gas*) é um processo de soldagem a arco que utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível e um gás de proteção inerte, sendo ideal para soldagens de alta qualidade em materiais como aços inoxidáveis e ligas especiais (Schwedersky at al. 2011;), como mostra a Figura 12, e por colaboradores próprios da empresa. A usinagem feita de forma manual tinha duração de 1:00 hora até 1:30 hora.

Figura 12 - Bocais sendo usinados manualmente.

Fonte: Autor

Devido à ausência de um padrão definido no processo de usinagem dos bocais, Figura 13, o método então utilizado não assegurava a confiabilidade necessária à operação. Essa falta de uniformidade resultava na formação de frestas entre os componentes, permitindo a passagem de sólidos suspensos que, por sua vez, contaminavam os licores do sistema e comprometiam a eficiência do processo industrial.

Figura 13 - Bocais danificados.



Fonte: Autor

A Tabela 1 apresenta os dados mensais referentes à concentração de sólidos suspensos no licor, ao consumo de ácido sulfúrico durante a etapa de branqueamento e à produção de celulose branqueada, ao longo do ano de 2023. Os dados indicam que, no período de janeiro a junho, fase em que a usinagem era executada manualmente, houve uma significativa instabilidade operacional. Essa instabilidade se refletiu tanto na elevação dos níveis de sólidos presentes no licor quanto no aumento do consumo de reagentes químicos, evidenciando perdas de processo e queda na eficiência. A variação nos resultados sugere que a ausência de precisão na usinagem comprometeu a vedação adequada dos bocais, influenciando diretamente na qualidade do licor tratado e, consequentemente, na consistência da produção.

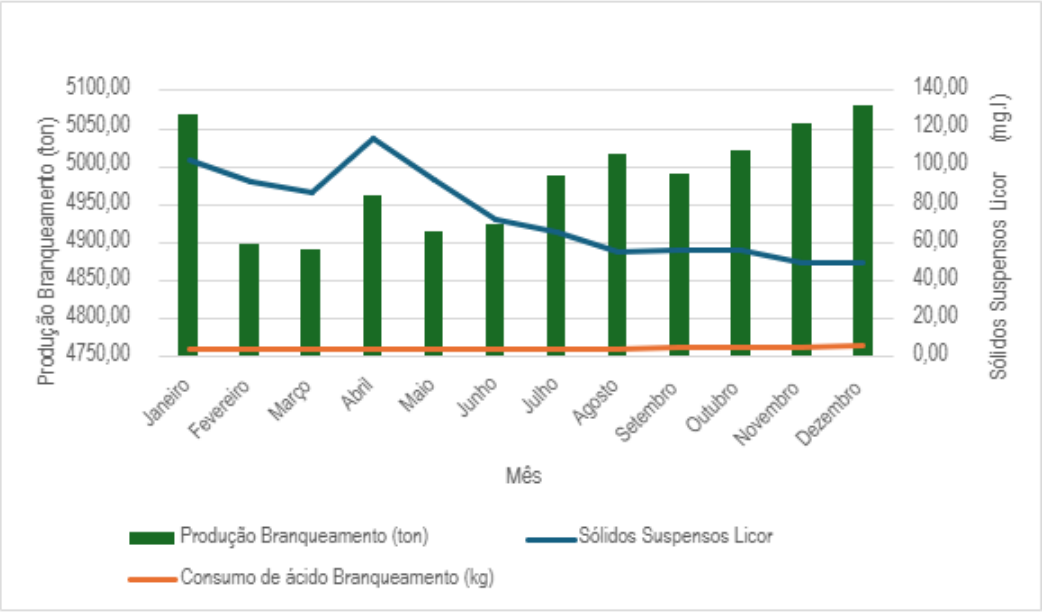
Tabela 1 - Média da quantidade de sólidos suspensos e o consumo do ácido sulfúrico no ano de 2023.

MÊS	Sólidos Suspensos Licor (mg/l)	Consumo de ácido Branqueamento (kg)	Produção Branqueamento (ton)
Janeiro	103,58	4,13	5066,99
Fevereiro	92,24	4,20	4898,49
Março	86,10	4,15	4890,26
Abril	115,06	4,13	4961,83
Maio	93,20	4,18	4913,24
Junho	71,89	4,17	4923,85
Julho	65,79	4,55	4986,72
Agosto	55,12	4,61	5014,87
Setembro	55,98	4,74	4990,91
Outubro	56,36	4,85	5020,82
Novembro	49,33	5,20	5056,35
Dezembro	49,35	5,61	5080,62

Fonte: Autor.

Observa-se uma queda gradual na quantidade de sólidos suspensos no licor a partir de julho, período posterior à realização da manutenção automatizada. A análise estatística dos dados mostra que, após a intervenção, a média dos sólidos suspensos no licor branco diminuiu cerca de 50% em comparação ao período anterior, indicando maior eficiência na vedação dos bocais. Simultaneamente, houve um aumento controlado no consumo do ácido sulfúrico, reflexo direto do ajuste no processo de branqueamento.

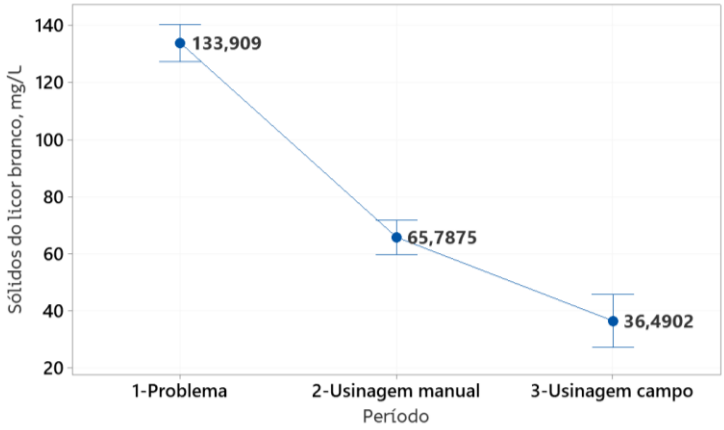
Gráfico 1. Análise da produção de celulose e quantidade de sólidos suspensos na polpa no ano de 2023.



Fonte: Autor.

O monitoramento quantitativo dos sólidos, evidenciado no Gráfico 2, corrobora essa tendência, com valores iniciais de até 133,91 mg/L, considerados fora dos parâmetros operacionais recomendados para garantir a eficiência do branqueamento e qualidade da celulose. Após a usinagem manual, os sólidos caíram para 65,79 mg/L, e após a implementação da biseladora automatizada, alcançaram-se níveis aceitáveis, em torno de 36,49 mg/L.

Gráfico 2. Gráfico de intervalos de sólidos do licor branco versus período.



Fonte: Autor

A análise estatística foi realizada utilizando o teste de Tukey com 95% de confiança, comparando os três momentos do processo: antes da intervenção, após a usinagem manual e após a adoção da biseladora automatizada. Os resultados, apresentados na Figura 14, indicam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos, comprovando a eficácia das ações implementadas.

Figura 14 - Informações de agrupamento usando o Método de Tukey.

Período	N	Média	Agrupamento		
1-Problema	349	133,91	A		
2-Usinagem manual	402	65,79		B	
3-Usinagem campo	167	36,49			C

Fonte: Autor.

6.2 Implementação da Mandriladora

Diante dos bons resultados com a biseladora automatizada, a equipe interna de fabricação e reparo de peças (Fabricar) desenvolveu um novo equipamento: a mandriladora automatizada Figura 11. Essa adaptação aumentou a precisão dimensional dos bocais, aprimorando sua vedação e reduzindo a ocorrência de falhas operacionais, Figura 15. Com essa inovação, foi possível eliminar a necessidade de terceirização da usinagem, reduzindo custos com manutenção e com mão de obra especializada.

Figura 15 - Bocais usinados.

Fonte: Autor

Além das melhorias técnicas, a automação contribuiu para a redução de custos operacionais, resultando em uma economia inicial estimada de aproximadamente R$ 385 mil por filtro. Houve ainda otimização do tempo de reparo, a manutenção que de forma manual levava 1:30 hora, com a mandriladora agora esse processo é realizado entre 40 minutos a uma hora. Além disso, a frequência de paradas não programadas diminuiu, contribuindo para o retorno mais rápido do processo. Em conversa com os mecânicos que realizavam essa atividade, após a manutenção ser feita de forma automática eles sentiram uma melhora na ergonomia para execução da atividade, pois como mostra a Figura 12 eles tinham que passar cerca de 1 hora e meia em uma posição desconfortável.

Observou-se o consumo de ácido sulfúrico, utilizado para compensar a presença de sólidos no licor. Considerando o custo médio de R$ 1,64/kg ao longo do ano é representada na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos mensais com ácido sulfúrico no ano de 2023.

MÊS	VALOR (R$)
Janeiro	34.319,77
Fevereiro	33.766,28
Março	33.307,58
Abril	33.610,17
Maio	33.686,39
Junho	33.667,52
Julho	37.193,25
Agosto	37.893,82
Setembro	38.763,58
Outubro	39.968,46
Novembro	43.155,19
Dezembro	46.742,36
TOTAL	446.074,36

Fonte: Autor.

6.3 Consequências da adaptação da mandriladora

A implementação da mandriladora resultou em benefícios diversos para a unidade da Suzano. Além da redução de custos e da melhora na qualidade do produto final, houve capacitação técnica da equipe interna, promovendo maior autonomia operacional e desenvolvimento profissional. A automação do processo trouxe maior padronização à usinagem, eliminando variações que anteriormente comprometiam a vedação dos filtros. Como consequência, reduziu-se a necessidade de ajustes manuais, paradas não programadas e retrabalhos.

A vedação mais eficiente impactou positivamente na homogeneidade da polpa de celulose, elevando o valor agregado do produto final.

Em síntese, os principais resultados observados foram:

- Melhoria na vedação dos bocais, com redução na passagem de sólidos indesejados;
- Eliminação da terceirização, reduzindo os custos operacionais;
- Otimização do tempo de manutenção e aumento da confiabilidade do sistema;
- Capacitação da equipe interna e fortalecimento da autonomia técnica;
- Redução do consumo de insumos e dos impactos ambientais;
- Maior cuidado com a ergonomia dos colaboradores.

A adaptação da mandriladora representou um avanço para o processo produtivo, pois possibilitou a padronização dos bocais do filtro de licor branco, o que impactou diretamente na uniformidade e controle dos sólidos suspensos presentes no licor. Essa padronização foi necessária para minimizar variações dimensionais e garantir uma vedação mais eficaz, reduzindo a passagem indesejada de partículas sólidas para o licor filtrado. Como resultado, observou-se uma maior estabilidade na qualidade do licor, refletida na diminuição consistente dos sólidos suspensos, conforme evidenciado na Tabela 3.

Tabela 3 - Média da quantidade de sólidos suspensos e o consumo do ácido sulfúrico no ano de 2024.

ANO	MÊS	Sólidos Suspensos Licor (mg/l)	Consumo de ácido Branqueamento (kg)	Produção Branqueamento (ton)
2024	Janeiro	63,04	4,58	4867,86
2024	Fevereiro	69,06	4,64	4843,13
2024	Março	70,60	4,67	4838,02
2024	Abril	68,55	4,68	4830,97
2024	Maio	71,26	4,69	4832,47
2024	Junho	71,51	4,70	4809,07
2024	Julho	69,29	4,68	4778,05
2024	Agosto	67,93	4,66	4752,74
2024	Setembro	70,95	4,70	4719,31
2024	Outubro	75,10	4,73	4687,67
2024	Novembro	79,03	4,98	4703,49
2024	Dezembro	81,90	5,13	4736,02

Fonte: Autor.

A solução desenvolvida tem potencial para ser replicada em outros equipamentos com filtros semelhantes, como os PGD, LMCD 1 e LMCD 2. Além disso, há possibilidade de expansão para outras unidades da Suzano e/ou venda para outras fábricas que utilizam bocais parecidos, aumentando os ganhos obtidos com a iniciativa. Esses resultados atendem aos objetivos específicos propostos a serem avaliados neste trabalho, demonstrando a eficácia da intervenção tanto na melhoria do processo industrial quanto na sustentabilidade da produção e valorização da equipe técnica da empresa.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou que a adaptação da biseladora em uma mandriladora automatizada foi fundamental para a melhoria da usinagem dos bocais do filtro de licor branco na unidade da Suzano em Imperatriz. Essa solução aumentou a precisão e padronização do processo, reduzindo significativamente a passagem de sólidos suspensos, melhorando a eficiência da filtração e otimizando o consumo de insumos como o ácido sulfúrico. Além disso, a automação permitiu a redução de custos operacionais, custo evitado inicial de R$ 385 mil, eliminando a necessidade de terceirização e diminuindo o tempo de manutenção de 1 hora e 30 min para apenas 40 minutos.

Além dos benefícios técnicos e financeiros, a iniciativa valorizou a equipe interna ao promover maior autonomia e melhores condições de trabalho, contribuindo para a sustentabilidade e a qualidade do produto final. O sucesso da adaptação sugere que esta abordagem pode ser aplicada em outras unidades e processos semelhantes, reforçando a importância da inovação e da integração entre conhecimento técnico e gestão operacional na indústria de papel e celulose.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMAN – CONGRESSO NACIONAL DE MANUTENÇÃO 19., 2004, Curitiba: Associação Brasileira de Manutenção, 2004

ADAMS, T. N. General Characteristics of Kraft Black Liquor Recovery Bolilers, Chapter 1 in Kraft Recovery Boilers, 1rd Edition, Tappi-Press, EUA. p. 3-37. 1997

ALCÂNTARA, F. M. A importância da lubrificação na usinagem. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, [s.d.]. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/60792/1/FELIPE+MENEZES+ALCANTARA.pdf. Acesso em 14 de junho de 2025.

ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. de. Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável. Campo Grande: Embrapa, 2015. 208 p

ALVES, É. D.; PINHEIRO, O. Soares; COSTA, A. O. S. da; COSTA JUNIOR, E F. da. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. Revista Liberato, v. 16, n. 26, p. 205–218, 2015.

AMORIM, H. J. de. Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro. Dissertação para obtenção de título de mestre em engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

BATISTA, T.S. A indústria de papel e celulose no brasil: produtividade, competitividade, meio ambiente e mercado consumidor. Uberlandia-MG, 2018. 51 p.

BAPTISTELLA, Márcia et al. Processo de fabricação de arruelas em torno mecânico e torno CNC mecânico. Projeto integrado. Revista Engenharia em Ação UniToledo. Araçatuba, 2017.

BALDIN, T et al. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de Eucalyptus *L'Hér*. Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science). 2017. 126 p

BELTRAN, H. A. et al. Volume and taper equations for commercial stems of Nothofagus obliqua and N. alpina. Cerne, Lavras, v. 23, n. 3, p. 299-309, 2017.

BONOMI, A.; LIMA, A. F.; PINTO, J. H. F.; SANT'ANNA, R. J.; HOCHGRED, S.; PARK, S. W. Conservação de energia na indústria de celulose e papel. São Paulo - Sp: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, . 381 p. 1985.

BUNGENSTAB, D. J. (ed.). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012.

CAMPOS, E. S. Curso básico de fabricação de celulose e papel. Suzano - SP, 2011. 233 p.

CARDOSO, R. C. (2016). Muito além dos desertos verdes: O plantio de eucalipto para produção de celulose e as arenas de negociação de conflitos nos territórios Cuestas de Botucatu e Extremo Sul da Bahia. 2016

CAUX, L. S. et al. Estudo da viabilidade do parâmetro viscosidade como determinante para a qualidade da fibra de celulose. 2019

CORNELL, C.F. Cooking Liquor Preparation, Chapter 7 in Chemical Recovery in the AlkLine , Pulping Processes, 3rd Edition, Edited by Green, R.P.and Hough, G., Tappi Press, EUA. p.118-152. 1992

CORREIA, A. et al. Revisitando número kappa: conceitos e aplicações na indústria de celulose. O Papel, v. 80, n. 07, p. 77–89, 2019.

COSTA, F. O. M.; PINHEIRO, O. S.; COSTA, A. O. S.; COSTA Jr, E. F. Modelagem por Redes Neurais sem Entradas Atrasadas da Caustificação em Indústria de Celulose. Belo Oriente-MG

DEMUNER, B. J.; MANFREDI, V.; CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E. Refino de celulose de eucalipto: uma análise fundamental. O Papel, ago. 1990

FERES, F. Complexidade operacional superada com a evolução da tecnologia CNC. Revista O mundo da Usinagem. São Paulo: Sandvik Coromant do Brasil. 8 ed., v.70, ago. 2010.

FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. 15 ed. São Paulo: Blucher, 1970.

FERREIRA, D. J. O. Modelagem de Caldeira de Recuperação Química Kraft. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

FERREIRA, E. A. Usinagem: A Relevância dos Processos de Fabricação. Trabalho acadêmico (Artigo) – Faculdade Anhanguera, [s.d.]. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/57603/1/EDUARDO_APARECIDO_FERREIR. Acesso em 20 de maio de 2025.

FOELKEL, C. et al. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF n. 2, p.65-74, 1971

FOELKEL, C. Qualidade da madeira de eucalipto. Eucalyptus Newsletter, n. 41, 2015.

FOELKEL, C. Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel. 2006

FROZZA, M. Projeto e desenvolvimento de uma mandriladora portátil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco -PR. 2023.

FRIEND, D. F. L. Desenvolvimento de membranas antimicrobianas a partir da extração e purificação da celulose da casca da batata. Itajubá-MG. 2019.

GOMES, J.L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A.J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. Viçosa- MG. 2010.

GONÇALVES, Alécio Ferreira et al. A gestão sistêmica do transporte e estocagem da madeira como fator diferencial na produtividade e qualidade da celulose. O Papel, São Paulo, v. 77, n. 10, p. 70-82, out. 2016.

HORA, A. B.; MELO, L. Panoramas setoriais papel e celulose. 2015. Disponível em:

<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/7201/1/Papel%20e%20celulose_P.pdf>. Acesso em 21 mai.2025.

Ibá. Disponível em: <https://www.iba.org>. Acesso em 12 mai.2025.

KAMINSKI, D. Proposta Técnica Econômica para Adequação de Torno Mecânico Convencional a Norma NR12. 2015. 46 f. Especialização (Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, SC, 2015.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. Floresta e Ambiente, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000

LEE, J. Y.; KIM, C. H.; MOON, S. O; PARK, S. H. Global trends and prospects of black liquor as bioenergy. Palpu Chongi Gisul/J. Korea Tech. Assoc. Pulp Pap. Ind. 51 (5). 3–15, 2019.

LENGOWSKI, E. C. Tecnologia de polpação. Universidade Federal do Mato Grosso- 2021.

MACEDO, J.C.F. Análise Térmica e ambiental da queima do lodo primário da fabricação de papel e celulose em caldeira de biomassa à grelha. Instituto de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 216 f. 2006.

MATUMOTO, B. H. Análise da eficiência energética em processo de usinagem – comparação de tempo e potencia entre torno convencional e CNC. Setor de tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, [2024].

MOURA, M. V. F. – A indústria de papel e celulose: processo produtivo, impactos e desafios. Universidade Federal de Lavras. 2024.

OLIVEIRA, E. S et al. Projeto do produto: um estudo de caso na produção de arruelas por métodos artesanais e tecnológicos. Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 2, n. 2, 2017.

OLIVEIRA, J. R. Aplicação da Manufatura Auxiliada por Computador (CAM) no Desenvolvimento de Processos de Usinagem: Um Estudo Multi-Caso. 2012.

PASTOR, J.F.C; HORTAL, J.A.G.. El proceso al sulfato. Universidad Politecnica de Cataluna, Cataluna, Spain. 1990.

PINTO, P. C. O. R. Influência da estrutura química dos componentes da madeira no seu desempenho nos processos de produção de pastas celulósicas - Estudo comparativo entre o *Eucalyptos grobulus* e outras folhosas. (2005).

POLOWSKI, D. C. Avalição de sistemas de lavagem de polpa marrom utilizando simulador de balanço de massas. São Paulo – SP. 2012.

PORTAL CELULOSE. Brasil lidera produção e exportação de celulose mundial. Disponível em: <https://portalcelulose.com.br/brasil-lidera-producao-e-exportacao-de-celulose-mundial/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

PRODUÇÃO de celulose e sistema Kraft. Termoblog, [s.d.]. Disponível em: https://termoblog.com.br/producao-de-celulose-e-sistema-kraft/. Acesso em: 28 de abril de 2025.

RAMOS, R. D. et al. Influência da densidade básica e da composição química da madeira para a indústria de polpa celulósica: um estudo de caso. Ci. Fl., Santa Maria, v. 34, n. 3, e85566, p. 1-21, jul./set. 2024.

REIS, H. M. Análise Exergética e Ambiental do Processo de Obtenção do Licor de Cozimento Kraft para Extração de Celulose. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2013.

REIS, H. M. Processo de extração de celulose Kraft: ciclo de recuperação química. São Paulo: Fontenele Publicações, 612 p. 2021.

SCHWEDERSKY, Mateus Barancelli; DUTRA, Jair Carlos; OKUYAMA, Marcelo Pompermaier; SILVA, Régis Henrique Gonçalves e. Soldagem TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos. Soldagem & Inspeção, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 333–340, out./dez. 2011.

SILVA, S. D. CNC - Programação de Comandos Numéricos Computadorizados - Torneamento. 8. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2009

UEDA, K. C. G. Identificação de causas dos problemas no processo de expedição de cargas. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2023.

VALMET. Tecidos filtrantes para indústria de celulose, fibra e papel. Disponível em: Increase the efficiency with White-liquor filters with Valmet Acesso em: 09 mar. 2025.

VIEIRA, M. G. A. Análise da secagem de polpa de celulose para a obtenção de papel reciclado tipo cartão. Universidade federal de Campinas. Campinas-SP. 2006.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. de. Características químicas da polpa celulósica de eucalipto e as propriedades ópticas e físico-mecânicas do papel. Ciência da Madeira, v. 2, n. 2, p. 75–85, 2011.