

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**PABLO HENRIQUE EDUARDO NAZARIO DE PAIVA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
ANTIESPUMANTE NO FILTRO LAVADOR DA LINHA DE KRAFT  
MARROM DE UMA FÁBRICA DE PAPEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2022**

PABLO HENRIQUE EDUARDO NAZARIO DE PAIVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
ANTIESPUMANTE NO FILTRO LAVADOR DA LINHA DE KRAFT MARROM DE  
UMA FÁBRICA DE PAPEL**

**ECONOMIC VIABILITY ANALYSIS OF THE DEFOAMER REPLACEMENT IN  
THE WASHER FILTER OF THE BROWN KRAFT LINE OF A PAPER FACTORY**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Engenheiro Químico.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Bonfim Rocha

LONDRINA

2022



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons  
Atribuição - Não Comercial - Sem Derivações 4.0 Internacional.

[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

**PABLO HENRIQUE EDUARDO NAZARIO DE PAIVA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
ANTIESPUMANTE NO FILTRO LAVADOR DA LINHA DE KRAFT MARROM DE  
UMA FÁBRICA DE PAPEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Químico.

Data de aprovação: 08 de dezembro de 2022

---

Professor Dr. Lucas Bonfim Rocha - Orientador  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina

---

Pedro Henrique Neri de Menezes - Membro  
Engenheiro de Processos Sr. - Klabin S.A.

---

Professora Dr<sup>a</sup>. Lucimara Lopes da Silva – Membro  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina

**LONDRINA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço eternamente e principalmente à minha família, pois essa conquista se deu a toda ajuda que eles me proporcionaram, em todos os aspectos.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Londrina) e ao Departamento Acadêmico de Engenharia Química, por todo suporte, ensinamentos e aprendizados.

A área de Desenvolvimento de Processos e Laboratório de Processos da empresa que me concedeu a oportunidade de estagiar e por todo suporte que tive com o desenvolvimento do trabalho.

## RESUMO

A indústria de papel e celulose vem crescendo e ganhando espaço no mercado de embalagens e com ela, a busca por uma melhora da performance do processo impacta diretamente no seu potencial de produção, sempre se atentando a sustentabilidade associada aos benefícios ao meio ambiente. Afim de garantir a manutenção de performance de lavagem, diminuindo custos com o antiespumante, o presente trabalho visa analisar a viabilidade econômica da substituição de antiespumante na linha de produção de kraft marrom de uma fábrica de papel. A avaliação da performance dos Produtos A e B foi feita em laboratório através da recirculação de licor de extração de fibra longa, sendo que inicialmente foi recirculado 300 mL de licor durante 5 minutos e mais 15 minutos de recirculação com antiespumante, avaliando o volume de espuma reduzido. Numa dosagem específica de 0,225 kg/m<sup>3</sup> do Produto A, foram dosados a mesma quantidade, 20%, 30% e 40% a mais do Produto B. Também foram levantados os custos de cada produto e suas dosagens e as eventuais economias, bem como a elaboração de um plano de ação para aplicação através da metodologia 5W2H. O Produto A diminuiu aproximadamente 150 mL de espuma, igualmente a uma dosagem 30% superior do Produto B, levando em consideração a substituição de antiespumante com essa proporção, obteve-se uma redução de custo de aproximadamente 7,40% em comparação ao valor atual (com Produto A). Com isso, a substituição de antiespumante se torna viável economicamente.

**Palavras-chave:** Celulose; antiespumante; viabilidade econômica.

## ABSTRACT

The pulp and paper industry has been growing and gaining space in the packaging market, and with it, the search for improved process performance has a direct impact on its production potential, always paying attention to sustainability associated with environmental benefits. In order to guarantee the maintenance of washing performance, inspecting costs with the defoamer, this work aims to analyze the economic viability of replacing defoamer in the brown kraft production line of a paper factory. The evaluation of the performance of Products A and B was carried out in the laboratory through the recirculation of long fiber liquor, initially 300 mL of liquor was recirculated for 5 minutes and another 15 minutes of recirculation with antifoam, evaluating the volume of foam reduced. In a specific dosage of 0.225 kg/m<sup>3</sup> of Product A, the same amount was dosed, 20%, 30% and 40% more of Product B. The costs of each product and their dosages and the economic advantages were also raised, as well as the elaboration of an action plan for application through the 5W2H methodology. Product A lowered approximately 150 mL of foam, also at a dosage 30% higher than Product B, taking into account the replacement of antifoam with this proportion, a cost reduction of approximately 7,40% was obtained compared to the current value (with Product A). With this, the replacement of defoamer becomes economically feasible.

**Keywords:** Cellulose; defoamer; economic viability

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1: Produção de celulose (Brasil e mundo).....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2: A) Camadas da parede celular. B) Disposição das macroestruturas na parede celular vegetal. ....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 3: Representação macro da estrutura da biomassa lignocelulósica. ....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 4: Representação das interações das moléculas de celulose. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 5: Estrutura da hemicelulose. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 6: Representação da estrutura da lignina de eucalipto. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 7: Fluxograma de blocos do corpo do processo de produção de papel.** ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 8: Etapas do cozimento num digestor contínuo. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 9: Balanço de massa genérico numa operação de lavagem. ....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 10: Seções de um filtro rotativo a vácuo. ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 11: Balanço de componentes em um lavador hipotético.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 12: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com a dosagem específica do Produto A.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 13: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, na mesma dosagem específica do Produto A.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 14: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, numa dosagem 20% acima da específica do Produto A.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 15: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, numa dosagem 30% acima da específica do Produto A.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 16: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, numa dosagem 40% acima da específica do Produto A.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 17: Análise de sensibilidade do montante economizado pelo aumento da dosagem específica em porcentagem do Produto B.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 18: Análise de sensibilidade do montante economizado pelo aumento da dosagem específica em massa do Produto B. ....</b>	<b>44</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1: Classificação dos coloides de acordo com o estado físico das suas fases.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabela 2: Variáveis que influenciam na eficiência da lavagem da polpa. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 3: Demonstração da redução de espuma por produto. ....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 4: Mostra de valores dos Produtos A e B.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 5: Mostra de custos totais e economias. ....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 6: Tabela 5W2H para estruturação do planejamento do projeto. ....</b>	<b>45</b>



**LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS**

adt	Air dry ton – tonelada seca ao ar
bdt	Bone dry ton – tonelada absolutamente seca
CEA	Consumo específico de antiespumante
Cs	Consistência
CT	Custo total anual
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DR	Taxa de deslocamento
E	Eficiência do lavador
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FD	Fator de diluição
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
M	Montante do valor anual economizado
Na <sub>2</sub> S	Sulfeto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
O <sub>2</sub>	Gás oxigênio
PEA	Preço específico do antiespumante
pH	Potencial Hidrogeniônico
PTC	Produção total de celulose
TF	Fator de espessamento
UM	Unidade Monetária
ΔCT	Diferença de custo entre o Produto A e o Produto B

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Morfologia, composição e aplicações das fibras vegetais.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Dispersão coloidal e espuma .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>Procedimento para extração de polpa celulósica.....</b>	<b>16</b>
1.3.1	Etapas de cozimento no digestor .....	17
1.3.2	Lavagem da polpa celulósica.....	18
1.3.3	Filtro lavador a vácuo .....	20
<b>1.4</b>	<b>Problemática .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>22</b>
<b>1.6</b>	<b>Proposta.....</b>	<b>23</b>
<b>1.7</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>23</b>
<b>1.8</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Determinação de parâmetros de lavagem para cálculo da eficiência.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Condições para formação de espuma em filtros lavadores.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>Antiespumante .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4</b>	<b>Revisão bibliográfica .....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Testes de laboratório .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Análise da viabilidade econômica .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Plano de ação.....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados dos testes em laboratório .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise econômica .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3</b>	<b>Plano de Ação.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>

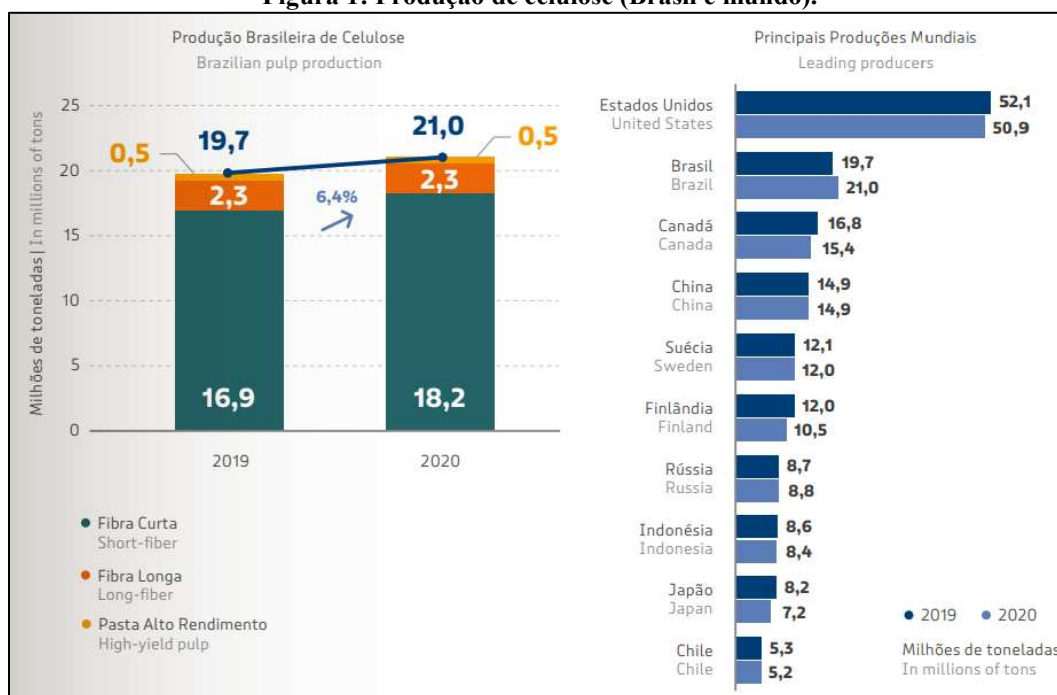
## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de papel e celulose vem crescendo e ganhando espaço no mercado de embalagens, sendo o papel uma solução mais viável que a produção de plástico, gerando resultados importantes no ramo florestal brasileiro, além de contribuir com parte dos plantios para sua produção, afetar o mercado investidor e ajudar na geração de renda e empregos nos locais de plantio (PEGO et al. 2019).

Cerca de 2,8 milhões de hectares, o equivalente a 36% do plantio de florestas, teve como destino a indústria de papel e celulose em 2020, gerando aproximadamente 21 milhões de toneladas de celulose, sendo que o Brasil obteve a 2ª colocação no ranking mundial de produção desse material, que foram convertidos em 10,2 milhões de toneladas de papel (IBÁ, 2021).

As fibras de pinus e eucalipto, são as principais matérias-primas desse setor, tendo em vista que essas árvores são provenientes de florestas plantadas. Cerca de 87% da fibra obtida é curta, advinda do eucalipto e totalizando uma produção de 18,2 milhões de toneladas, já a extração de fibra longa, oriunda do pinus, totaliza uma produção de aproximadamente 2,3 milhões de toneladas (IBÁ, 2021).

**Figura 1: Produção de celulose (Brasil e mundo).**



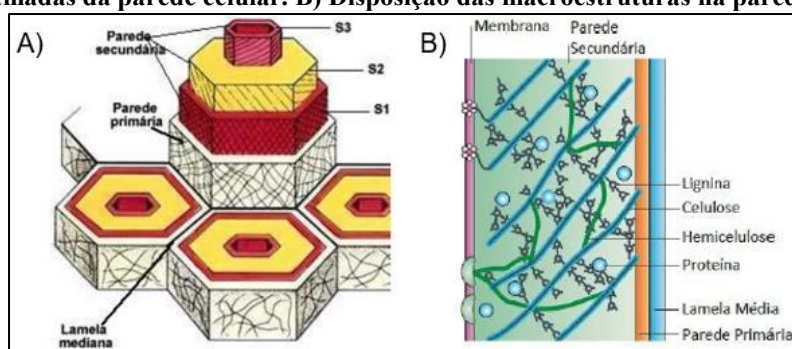
A melhora da performance do processo impacta diretamente no seu potencial de produção, sempre se atentando a sustentabilidade associada aos benefícios ao meio ambiente, bem como o impacto econômico que a melhora pode trazer. A aplicação de novos produtos na cadeia produtiva para melhoria da eficiência do processo, principalmente na obtenção de fibras celulósicas, pode resultar principalmente na diminuição geração de resíduos, diminuição do uso de matéria-prima, bem como aumento de produtos e com alto valor agregado (MACIEL; KHAN, 2017).

### 1.1 Morfologia, composição e aplicações das fibras vegetais

O emprego de fibras naturais está presente em diversas atividades e desenvolvimento de produtos, em especial, na produção de papel. Para produção de polpas celulósicas, produzidas principalmente a partir da madeira de pinus (fibra longa) e eucalipto (fibra curta), a estrutura da fibra é um fator extremamente importante (PEDRAZZI et al, 2013).

As fibras são compostas por camadas que formam anéis centrais, sendo que na parede celular da célula vegetal, lignina, hemicelulose, celulose e proteínas, encontram-se interligados, formando essas camadas que são: parede primária, parede secundária (S1, S2 e S3,) e a lamela média, que faz a separação das duas primeiras. A Figura 2 faz uma ilustração de como é disposta a estrutura das fibras vegetais.

Figura 2: A) Camadas da parede celular. B) Disposição das macroestruturas na parede celular vegetal.

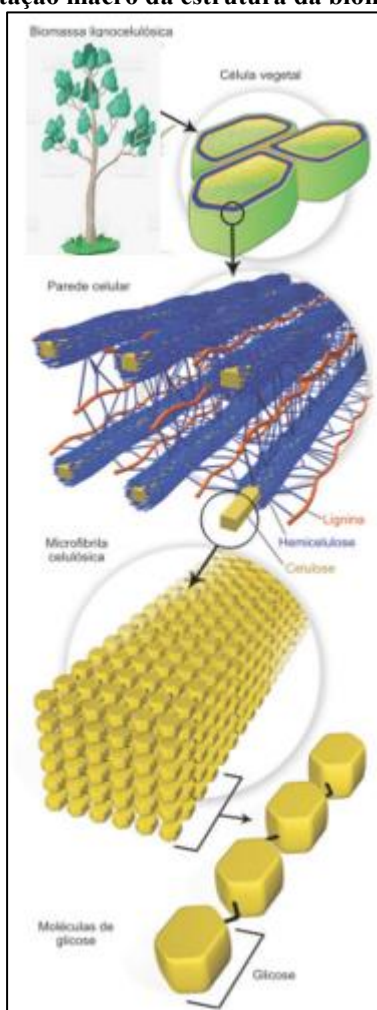


Fonte: Reven, Evert e Eichhorn (2001); Sticklen (2008), adaptado.

A formação de um complexo amorfo de hemicelulose e lignina envolve a celulose e a protege de ataques de enzimas e microrganismos, tornando essa estrutura rígida e de difícil penetração. A concentração de fibras é maior na parede secundária, já a lignina encontra-se em

maior concentração na lamela média, tendo como principal objetivo, a proteção das fibras que se encontram na parte mais interna da célula. Com isso, a composição da biomassa é de aproximadamente 35-50% celulose, 20-35% hemicelulose, 10-25% de lignina e uma quantidade relativamente pequena de outros componentes (FENGEL; WEGENER, 1989, SANTOS et al., 2012). A Figura 3 mostra uma representação macro da estrutura da biomassa lignocelulósica.

**Figura 3: Representação macro da estrutura da biomassa lignocelulósica.**

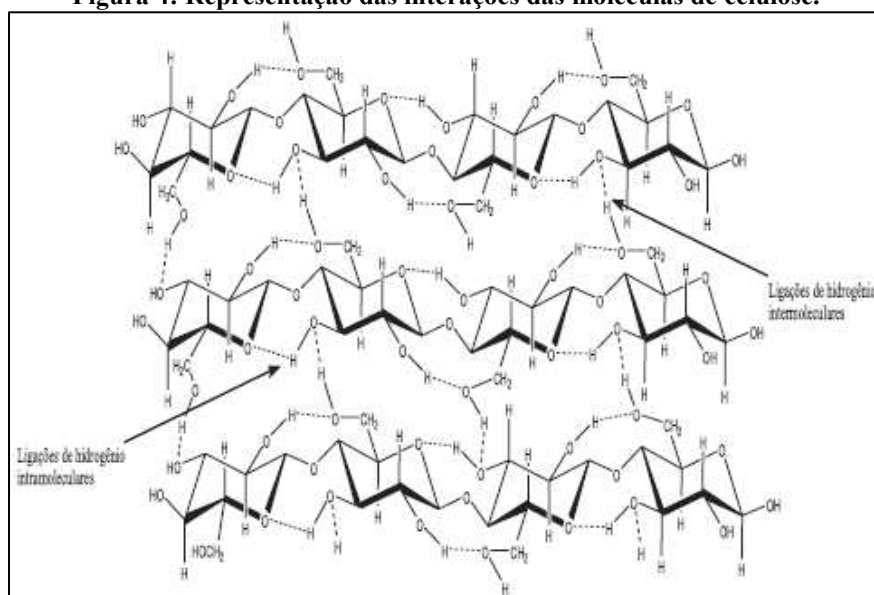


Fonte: Santos et al. (2012), adaptado.

Para a produção de papel, a celulose é a principal matéria-prima. Essa molécula trata-se de um polímero natural com alta ocorrência, sendo que os monômeros fazem ligações covalentes  $\beta$ -D(1 $\rightarrow$ 4)glicosídicas entre si, e as cadeias poliméricas interagem através de ligações de hidrogênio. Há também a associação dessas moléculas em estruturas amorfas ou

cristalinas, que podem definir algumas características mecânicas as fibras, como resistência à tensão e baixo grau de solubilidade em água, solventes orgânicos, ácidos e álcalis (DING; HIMMEL, 2006). Tais características são proporcionadas a essas moléculas, pois elas são lineares e, como fazem ligações de hidrogênio inter e intramoleculares, onde alguns feixes de moléculas de celulose são agregados, formando microfibrilas (região cristalina) que se alternam com regiões amorfas, sendo que as microfibrilas acarretam na formação de fibrilas e essas por sua vez formam a fibra celulósica, impactando então na alta resistência a tração e insolubilidade em solventes (KLOCK, 2017). A Figura 4 mostra as cadeias poliméricas de celulose interagindo entre si através de ligações de hidrogênio.

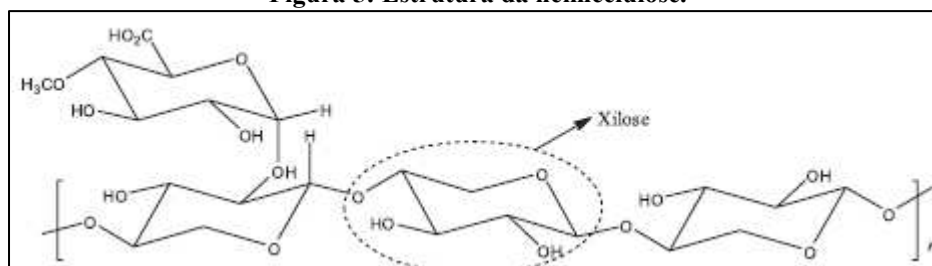
**Figura 4: Representação das interações das moléculas de celulose.**



**Fonte: Santos et al. (2012).**

Especificando mais as principais moléculas que compõe a parede celular e estão estritamente envolvidas no processo de produção de celulose, a hemicelulose também é um biopolímero que pode ser formado por diferentes tipos de sacarídeos, dentre eles a D-glucose, D-xilose, ácido D-glucurônico, entre outros. Por possuírem maiores graus de amorfismo, devido a ramificações em sua estrutura, as hemiceluloses possuem maior grau de hidrólise em meio ácido, fornecendo maior acessibilidade à ação de ácidos inorgânicos (RAMOS, 2003; FENGEL; WEGENER, 1989). A Figura 5 apresenta uma das estruturas da hemicelulose.

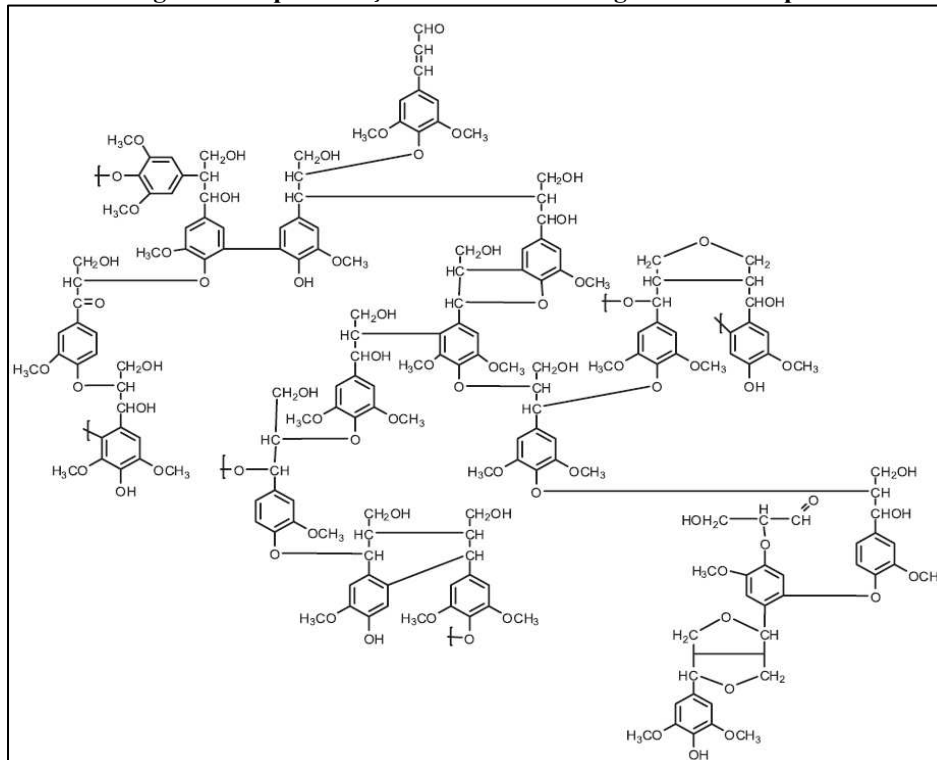
**Figura 5: Estrutura da hemicelulose.**



Fonte: Santos et al. (2012).

Já a lignina é uma molécula de estrutura complexa e a segunda mais abundante, depois da celulose, nas biomassas lignocelulósicas. Consiste numa estrutura amorfa, formada por diferentes compostos fenólicos, sendo que sua composição varia de uma espécie de planta para outra (FENGEL; WEGENER, 1989). Vale relembrar que a lignina funciona como uma estrutura de proteção para a celulose, dificultando a ação de substâncias químicas, microrganismos e enzimas (LU et. al., 2002). A Figura 6 apresenta a estrutura da lignina de eucalipto.

**Figura 6: Representação da estrutura da lignina de eucalipto.**



Fonte: Santos et al. (2012).

Vale ressaltar que as fibras vegetais são compostas também de outras substâncias como ácidos graxos, álcoois, proteínas e resinas, sendo facilmente extraídas em solventes orgânicos (SMOOK,1990).

A polpação Kraft, que consiste na solubilização da lignina em licor branco, composto basicamente por sulfeto de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) e hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), é o método mais usado na obtenção de polpa celulósica, a partir da madeira de pinus e eucalipto (SANTOS et al., 2016).

## 1.2 Dispersão coloidal e espuma

Um coloide ou dispersão coloidal, caracteriza uma mistura heterogênea no qual uma substância ou mais, se encontram dispersas em outra substância (dispersante), podendo gerar duas fases ou mais, sendo que os dispersos podem formar aglomerados entre si. O que diferencia um coloide de uma suspensão é o tamanho do disperso contido no meio, podendo ser um microrganismo, bolha, micela, partícula salina, que pode variar de 1nm a 1000 nm (LIMA, 2014). Num coloide estável, as partículas de disperso possuem cargas elétricas equivalentes, positivas ou negativas, predominando as interações repulsivas, já em um coloide instável acontece o contrário, havendo incidência de cargas elétricas diferentes, ocasionando na coagulação e floculação (LIMA, 2014). A Tabela 1 apresenta a classificação dos coloides de acordo com o estado físico das suas fases.

**Tabela 1: Classificação dos coloides de acordo com o estado físico das suas fases.**

		<b>Disperso</b>		
		<u>Gás</u>	<u>Líquido</u>	<u>Sólido</u>
<b>Dispersante</b>	<u>Gás</u>	-	Aerosol líquido	Aerosol sólido
	<u>Líquido</u>	Espuma	Emulsão	Sol
	<u>Sólido</u>	Espuma sólida	Gel	Sol sólido

Fonte: Lima (2014), adaptado.

Uma característica de dispersões coloidais, é o movimento desordenado e caótico das partículas da fase dispersa, denominado movimento browniano, bem como dispersar feixes de luz incididos nessas misturas, denominado efeito Tyndall (ATKINS; JONES, 2011).

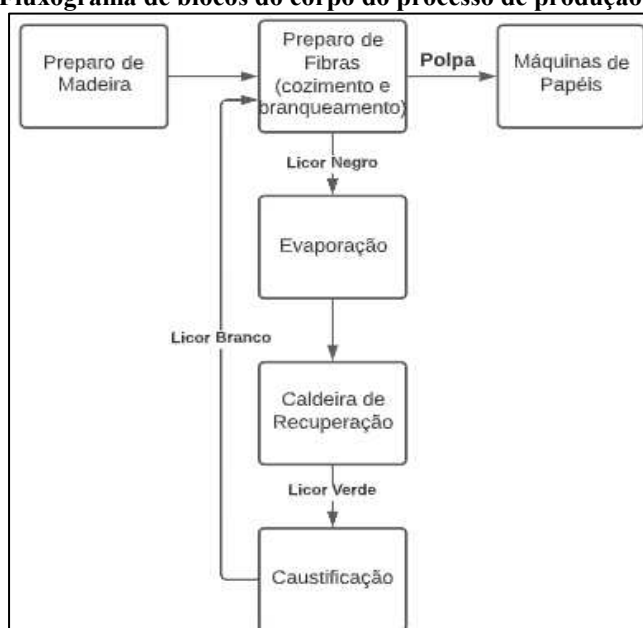


Como visto na Tabela 1, a espuma é um tipo de dispersão coloidal que ocorre quando o disperso se encontra no estado gasoso e o dispersante no estado líquido. O aumento da espuma pode aumentar conforme algumas variáveis do sistema mudam, como pH, temperatura e agitação (CARDOSO, 2009). Isso acontece devido à mudança de carga elétrica das partículas dispersas, que pode afetar a carga líquida, quando se altera o pH ou alterar a tensão superficial das fases, quando se altera a temperatura. (FOGAÇA, 2022).

### 1.3 Procedimento para extração de polpa celulósica

Partindo da ideia da extração de polpa a partir de um método químico, o presente trabalho irá focar no processo de extração do tipo Kraft, altamente usado nas indústrias desse ramo no Brasil. O método consiste na separação da matriz lignocelulósica, deslignificando parcialmente a matéria-prima, com emprego de NaOH e NaS<sub>2</sub>, tendo ação mais direta na lignina e hemicelulose, obtendo a celulose individualizada. O processo consiste no cozimento de cavacos (pequenos pedaços) de madeira em licor branco dentro de um reator, a temperaturas de aproximadamente 100 a 170 °C e pressão de 3,5 a 4,5 kgf/cm<sup>2</sup> (BORREGA et al., 2017, CARDOSO, 2009). A Figura 7 ilustra como são dispostas as operações numa fábrica de papel genérica.

**Figura 7: Fluxograma de blocos do corpo do processo de produção de papel.\*\***



Fonte: Autoria Própria (2022).

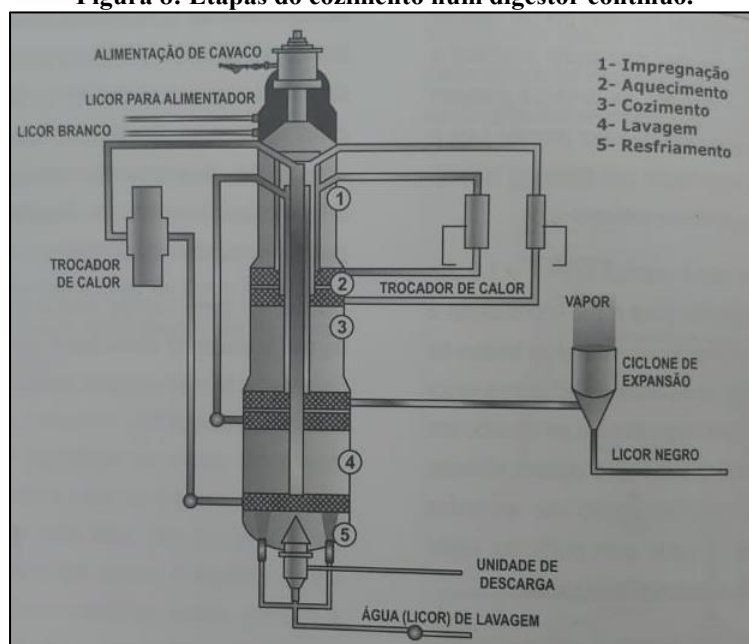
\*\*Vale ressaltar que ainda há a inserção da estação de tratamento de água (ETA) e estação de tratamento de efluente (ETE), bem como as caldeiras de força e outros, porém, o foco é na linha principal do processo.

### 1.3.1 Etapas de cozimento no digestor

O trabalho em questão avalia a etapa contendo um digestor que trabalha em regime contínuo, contendo uma seção de impregnação do licor branco no cavaco, num vaso de impregnação, porém, antes dessa etapa, há a inserção de vapor nos cavacos para diminuição da quantidade de ar contido no mesmo, facilitando o processo. Em seguida, o cavaco, com dimensões de comprimento e espessura aproximadas de 20mm x 5 mm, respectivamente, é levado diretamente ao digestor, passando pelo aquecimento e cozimento à aproximadamente 165°C, permanecendo aproximadamente 90 minutos para que ocorra a deslignificação (CARDOSO, 2009).

Após o cozimento, os cavacos são direcionados a zona de lavagem do reator, tendo como intuito encerrar a reação, injetando licor negro em baixas temperaturas, sendo que esse desloca o licor mais quente, passando ainda por uma zona de resfriamento, juntamente com os cavacos, que são resfriados a uma temperatura de aproximadamente 80 °C e saem pelo fundo do digestor para um tanque de descarga, conforme apresentado na Figura 8 (REEVE, 1983).

**Figura 8: Etapas do cozimento num digestor contínuo.**



Fonte: Gomide (2001).

### 1.3.2 Lavagem da polpa celulósica

A filtração/lavagem é uma etapa muito importante na produção de celulose. Ela consiste na separação dos sólidos insolúveis (disperso) de um fluido (dispersante), que podem ser separados por um meio filtrante, seja telas, tambores ou películas, onde sempre haverá ação de uma força para essa separação, podendo ser uma força de arraste, gravitacional ou até mesmo o vácuo (CARDOSO, 2009).

Para Elbacha et al. (2020), este processo é muito importante para uma fábrica de produção de celulose e papel, pois além de adequar as características da polpa para o estágio posterior do processo, faz interface direta com o ciclo de recuperação química, possibilitando a recuperação do material orgânico e inorgânico contidos no licor, os quais possuem valor agregado, impactando diretamente nas questões econômicas relacionadas ao sistema de recuperação e energia. Sendo assim, os principais objetivos do processo de lavagem da polpa celulósica são:

- Remover os compostos orgânicos e inorgânicos presentes na massa celulósica não haja carry over (arraste de sólidos dissolvidos) com a polpa;
- Recuperar o licor negro rico em compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos para utilizá-los como combustível nas caldeiras e recuperação, respectivamente, bem como a recuperação de inorgânicos na operação de caustificação.

O volume de água adicionado ao sistema deve ser o menor possível, uma vez que o filtrado final da lavagem deve ser evaporado e queimado para recuperar os sais de sódio. Um excesso de água reflete no gasto adicional de energia durante a etapa de evaporação. Em contrapartida, uma lavagem insuficiente acarreta na perda de licor negro impregnado na polpa ou perda alcalina, o que impacta significativamente no balanço térmico e químico do setor de recuperação (CARDOSO, 2009).

A lavagem da polpa celulósica pode ser dividida em macro e micromecanismos. Os micromecanismos consistem no transporte de licor de dentro para fora da fibra e podem ser divididos em: difusão, compressão, inchamento. Os macromecanismos consistem na remoção do licor negro da suspensão, sendo eles: extração e deslocamento. Sendo assim, existem vários tipos de equipamentos de lavagem de polpa, sendo os mais comuns: filtros a vácuo e

pressurizados, difusores atmosféricos e pressurizados, lavagem Hi-heat (pré-lavagem em digestores contínuos), prensas lavadoras e prensas desaguadoras (CARDOSO, 2009).

Com isso, pode-se estabelecer um balanço para um estágio da operação de lavagem, tendo em vista que, o soluto da corrente de entrada de polpa celulósica é deslocado para o filtrado que irá deixar o filtro, aumentando essa carga no filtrado ( $y_1 > y_2$ ), sendo assim, essa carga de soluto será menor na polpa lavada (ELBACHA et.al., 2020).

**Figura 9: Balanço de massa genérico numa operação de lavagem.**



Fonte: Crotogino et al (1987), adaptado de (Elbacha et.al., 2020).

- $L_0$ : Polpa não lavada (ton de licor /ton de polpa não lavada absolutamente seca).
- $L_1$ : Polpa lavada (ton de licor /ton de polpa lavada absolutamente seca).
- $V_1$ : Filtrado (ton de licor /ton de polpa lavada absolutamente seca).
- $V_2$ : Licor de Lavagem (ton de licor /ton de polpa lavada absolutamente seca).
- $x$ : Concentração de sólidos dissolvidos na corrente de polpa ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )
- $y$ : Concentração de sólidos dissolvido na corrente de licor ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

Com os parâmetros determinados, pode-se descrever a equação de balanço material para o sistema, conforme apresentado na Equação (1):

$$N * x_N = x_0 * L_0 + y_2 * V_2 - x_1 * L_1 - y_1 * V_1 \quad (1)$$

- $N$ : Polpa e licor que entram ou saem do sistema (ton de licor /ton de polpa lavada absolutamente seca).
- $x_N$ : Concentração total de sólidos ( $\text{ton}/\text{m}^3$ ).

A Tabela 2 apresenta as variáveis que podem influenciar na eficiência do deslocamento de sólidos da polpa.

Tabela 2: Variáveis que influenciam na eficiência da lavagem da polpa.

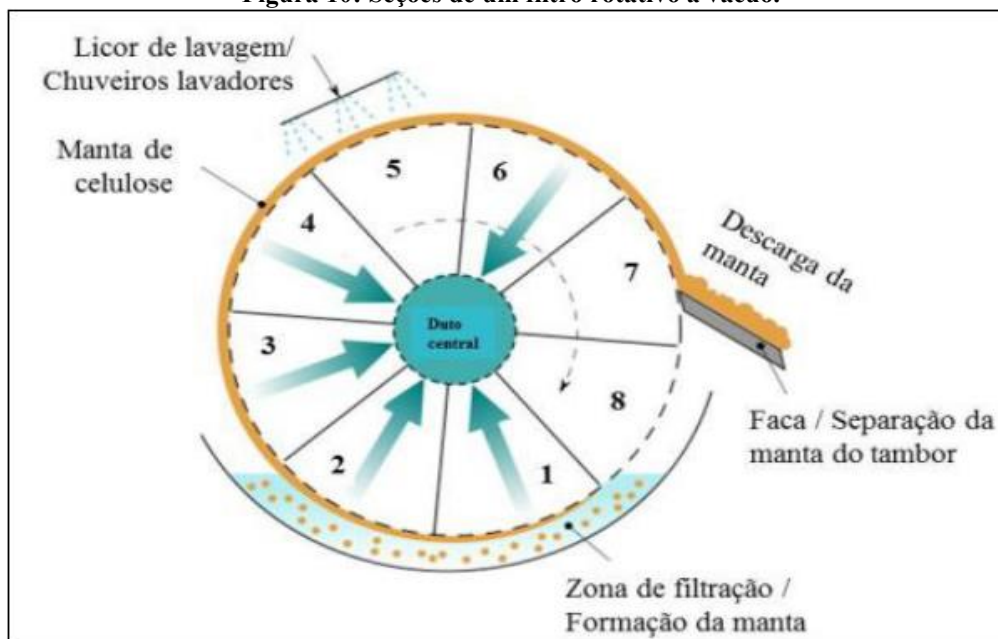
<b>Processo de polpação</b>	
<b>Características da polpa</b>	Índice de drenabilidade (freeness)
	Espécie de madeira
<b>Licor/água para os chuveiros</b>	Temperatura
	Distribuição
	Modo de aplicação
<b>Formação e espessura da manta de polpa</b>	Taxa de alimentação específica
	Consistência (Cs) da tina
	Velocidade de rotação
<b>Variáveis operacionais</b>	Fator de diluição
	Temperatura da polpa
	Ar presente na polpa
	Teor de sólidos no licor
	Malha da tela
	Incrustação na tela

Fonte: Smook (1990).

### 1.3.3 Filtro lavador a vácuo

O filtro lavador rotativo a vácuo consiste num tambor rotativo perfurado o qual é recoberto por uma malha metálica. Durante a operação o tambor é submerso parcialmente na tina, a qual recebe uma suspensão fibrosa a baixa consistência, em torno de 1 a 2%. O vácuo aplicado através do tambor do filtro extrai parte do licor negro da suspensão de polpa marrom formando uma torta na superfície do meio filtrante. Conforme o tambor gira os chuveiros espalham o fluido de lavagem sobre a torta de polpa deslocando o licor presente na torta através de um licor com menor concentração de sólidos (POLOWSKI, 2012). A Figura 10 ilustra a dinâmica de funcionamento de um filtro rotativo a vácuo.

Figura 10: Seções de um filtro rotativo a vácuo.



Fonte: Polowski (2012).

Para Polowski 2012, as seções ilustradas na Figura 10 apresentam as seguintes finalidades:

Seção 1 e 2 – Formação: A suspensão fibrosa alimentada a uma consistência entre 1% e 2% adere-se a superfície do tambor formando uma manta e o filtrado é sugado para o interior do tambor devido ao vácuo gerado pelo filtrado que flui constantemente através da perna barométrica.

Seção 3 e 4 – Extração: É a região onde ocorre o aumento de consistência da manta através da extração do licor presente na polpa também pela ação do vácuo.

Seção 5 – Lavagem da manta por difusão e extração: O fluido de lavagem (geralmente filtrado de um estágio anterior de lavagem) é aspergido por toda a superfície da manta através de chuveiros, deslocando o licor presente na manta forçando a sua passagem para o interior do tambor.

Seção 6 – Zona de alto vácuo ou de secagem da manta: É a região onde ocorre a maior incidência de vácuo durante a lavagem, onde o engrossamento da manta ocorre através da drenagem do licor presente na polpa para o interior do tambor.

Seção 7 – Descarga da manta: Nesta região é aplicado ar através de sopragem a fim de quebrar o vácuo e destacar a manta a uma consistência entre 10% e 12%.

#### 1.4 Problemática

A diminuição da efetividade de lavagem da polpa, aliada ao alto preço dos químicos que participam dessa operação, podem afetar o processo de produção de celulose, bem como gerar custos desnecessários à empresa. Quando o ar acompanha a massa celulósica no processo de lavagem há geração e acúmulo de espuma no filtro lavador, o que pode influenciar diretamente na geração de vácuo, fazendo com que a filtração não seja efetiva e a manta celulósica ainda carregue alto teor de licor e, conseqüentemente, alto teor de sólidos solúveis e insolúveis. O prejuízo com isso pode impactar diretamente em várias outras operações da fábrica, sendo elas:

- Aumento de uso de água de lavagem e, conseqüentemente, aumento do uso de energia na evaporação;
- Perda de orgânicos para queima na caldeira de recuperação;
- Aumento do make-up de sódio e sulfato para recuperação de álcali perdido;
- Aumento do uso de químicos nas máquinas de papéis;
- Diminuição da produção de celulose, devido ao aumento do tempo de retenção da polpa nas etapas de lavagem;

Todas as possibilidades citadas impactam diretamente na receita da empresa, acarretando em mais custos de processo.

#### 1.5 Justificativa

É de suma importância que a operação atue de maneira estável e eficiente, sem variações do volume de licor, sem variações dos fluxos de lavadores e sem variações das concentrações de sólidos presentes na polpa, sendo que esses distúrbios podem afetar diretamente o tempo de operação. Sendo assim, analisar a aplicação de produtos químicos compatíveis e os preços de cada um é de suma importância. Com isso, dosar antiespumante nos filtros de lavagem se faz necessário, afim de contribuir com as propriedades físico-químicas estáveis do sistema (PHILIPP et al., 1988).

Sendo assim, com o intuito manter ou melhorar a performance da lavagem de polpa celulósica de uma linha de produção de fibra marrom, diminuindo custos com a compra de antiespumante, se faz necessária a mudança desse produto, tendo em vista que os testes de

laboratório de materiais alternativos se mostraram promissores. Logo, visto que o serviço de engenharia sempre visa tal melhora de performance reduzindo custos e, ao estudar uma nova opção de antiespumante do mesmo fornecedor, faz-se necessário avaliar economicamente essa mudança, afim de trazer redução de custos para a empresa.

## **1.6 Proposta**

Realizar a análise da viabilidade econômica da aplicação de um novo antiespumante na lavagem de polpa celulósica de uma linha de fibra marrom, afim de manter ou melhorar o desempenho da lavagem, verificando qual será o impacto financeiro, na operação e produção da fábrica. Por questões de confidencialidade de processo na empresa, o produto atual será intitulado “Produto A” e a nova proposta será intitulado “Produto B”, bem como a utilização de UM (unidade monetária) para cálculos de valores monetários, resguardando os custos reais de compra.

## **1.7 Objetivo Geral**

Analisar a viabilidade econômica da aplicação de um novo antiespumante na lavagem de polpa celulósica de uma linha de fibra marrom de uma fábrica de papel.

## **1.8 Objetivos Específicos**

- Reproduzir e analisar a performance de cada produto em escala laboratorial;
- Levantar o montante anual de economia com a aplicação do novo antiespumante;
- Fazer a análise de sensibilidade dos parâmetros associados a economia de gastos com a mudança de antiespumante, variando o seu consumo específico.
- Definir um plano de ação para troca de antiespumante.



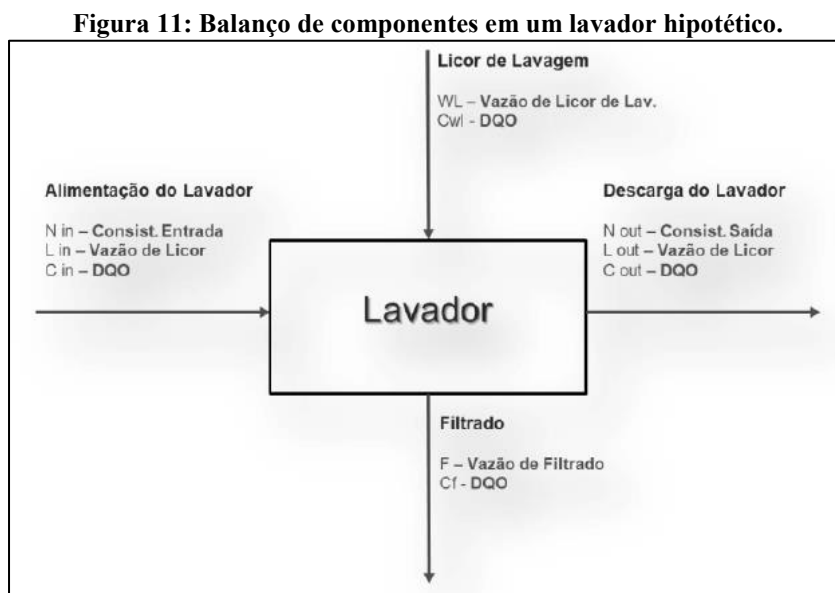
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Determinação de parâmetros de lavagem para cálculo da eficiência

Para avaliação da eficiência da etapa de filtração no processo de produção de polpa celulósica, Cantrel (2019) traz em seu estudo alguns parâmetros a se calcular, afim de mensurar o desempenho da lavagem.

#### Taxa de Deslocamento (DR)

O parâmetro mais comumente utilizado para medir a eficiência do deslocamento é a Taxa de deslocamento (DR). Por meio desse parâmetro é possível calcular a redução de concentração de sólidos dissolvidos, pelo equipamento lavador. É utilizada a remoção real comparada com a remoção máxima possível admitindo-se um fluxo laminar perfeito e ideal. A Figura 11 ilustra um exemplo de sistema de lavagem em um lavador de um estágio.



Fonte: Cantrel (2019).

A Equação (2) representa a fórmula da taxa de deslocamento (DR).

$$DR = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in} - C_{wl}} \quad (2)$$

- $C_{in}$ : Demanda química de oxigênio do licor na polpa de alimentação do filtro lavador ( $\text{ton}/\text{m}^3$ ).
- $C_{out}$ : Demanda química de oxigênio do licor na polpa de saída do filtro lavador ( $\text{ton}/\text{m}^3$ ).
- $C_{wl}$ : Demanda química de oxigênio no licor de entrada do filtro lavador ( $\text{ton}/\text{m}^3$ ).

Na figura a letra C indica a concentração de soluto em diferentes posições. Ela pode ser medida por Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos dissolvidos ou a concentração de algum composto que desejasse medir. Quanto mais próximo de 1 o valor da taxa de deslocamento, mais eficiente será a operação, pois significa que a concentração de saída da suspensão é igual a concentração do licor de lavagem utilizado e assim atingiu-se a máxima eficiência possível.

Os químicos para lavagem, uma taxa de deslocamento mínima aceitável é em torno de 78%. É importante salientar que essa equação admite, como premissa, que não há alteração na consistência da polpa que está fluindo no equipamento lavador. Outro ponto importante é que a equação da taxa de deslocamento não leva em consideração a vazão de licor de lavagem e é sabido que quanto maior a vazão desse licor, maior a tendência que a concentração da suspensão fibrosa lavada se aproxime da concentração do licor de lavagem.

### **Fator de Diluição (FD)**

A quantidade de licor de lavagem, expressa como Fator de Diluição, é um dos fatores mais importantes que afetam o resultado da lavagem, além do próprio equipamento de lavagem. Ou seja, fisicamente ele representa a quantidade de água que é inserida no sistema de licor e quanto maior seu valor, maior a quantidade de água inserida. Esse parâmetro é calculado conforme a Equação (3).

$$FD = \frac{L_1 - L_2}{P} \quad (3)$$

- FD: Fator de Diluição ( $\text{m}^3 / \text{adt}$ ).
- $L_1$ : Fluxo de licor de lavagem ( $\text{m}^3 / \text{h}$ ).
- $L_2$ : Fluxo de licor que acompanha a polpa ( $\text{m}^3 / \text{h}$ ).
- P: Tonelada de polpa absolutamente seca (bdt).

A eficiência do deslocamento depende muito desse fator. Estudos demonstram que, a diminuição do FD em 1,0 ponto pode aumentar as perdas na lavagem da polpa em até 40%.

### **Fator de Espessamento (TF)**

É um parâmetro utilizado para filtros lavadores e expressa o efeito de espessamento desde a consistência da tina até a consistência da manta, para o qual busca-se um valor de no mínimo 65%. A fórmula do fator de espessamento está ilustrada na Equação (4).

$$TF = \frac{D_{in} - D_{out}}{D_{in}} \quad (4)$$

- TF: Fator de espessamento.
- $D_{in}$ : (100-consistência de entrada) / consistência de entrada.
- $D_{out}$ : (100-consistência de saída) / consistência de saída.

### **Eficiência do lavador (E)**

É a medida em que a lavagem move os filtrados (chuveiros), dilui a polpa e volta a espessar a manta fibrosa. A equação que traduz a eficiência de um lavador é espessa na Equação (5), onde TF é a taxa de espessamento e DR é a taxa de deslocamento.

$$E (\%) = (TF + (1 - TF) * DR) * 100 \quad (5)$$

## **2.2 Condições para formação de espuma em filtros lavadores**

### **Presença de ar na massa**

Como o licor traz consigo alto teor de sabão, uma polpa muito aerada pode ocasionar acúmulo de espuma, devido a solubilização de extrativos que geram esse sabão, aliado as condições operacionais que podem contribuir para isso (POLOWSKI, 2012).

O ocasionamento de bolhas de ar impede a percolação do licor entre a manta de fibras, dificultando a difusão de sólidos contidos na massa, bem como, dificulta a geração de vácuo no filtro (DANCE; REEVE, 1996).

### **Consistência da polpa na entrada do filtro**

Uma consistência da polpa de alimentação pode contribuir para a formação de espuma, pois não há boa formação da manta celulósica, auxiliando a passagem de ar e contribuindo para esse acúmulo (POLOWSKI, 2012). Tal consistência é aferida por controladores em campo, sendo essa condição uma função do grau de escoamento da polpa, podendo variar de 1 a 1,5% na entrada e entre 10 e 12% na saída (CARDOSO, 2009).

### **Velocidade do tambor**

Uma alta rotação no tambor do filtro de lavagem contribui para a redução do tempo de retenção da massa no filtro, isso ocasiona em tinas finas e conseqüentemente aumenta a passagem de ar para o filtrado, contribuindo para a formação de espuma. A velocidade média, dependendo da operação da planta, pode variar entre 1 e 5 rpm (CARDOSO, 2009).

### **Chuveiros de lavagem**

Chuveiros de lavagem desajustados, principalmente os que possuem alta vazão e bico com desenho inadequado (que geram jatos colidentes), comprometem a formação de manta, facilitando a percolação de ar, gerando espuma e comprometendo o desempenho da lavagem (POLOWSKI, 2012).

## **2.3 Antiespumante**

O antiespumante é um produto químico desenvolvido para amenizar ou cessar a espuma produzida em um sistema, reduzindo a tensão superficial entre bolha de ar e massa celulósica, diminuindo a energia superficial entre as interfaces, facilitando a flutuabilidade e proporcionando uma força ascensorial mais rápida da bolha ou o seu rompimento (CARDOSO, 2009).

A estrutura de um antiespumante varia de acordo com sua necessidade e processo industrial aplicado, tendo em vista que seu uso não deve causar alteração no processo ou na reologia de algum reagente ou do produto final. Com isso, os principais ativos dos antiespumantes podem ser, poliéteres, álcoois, ésteres graxos, siliconas ou sílica silanizada (VENTURELI, 2008).

O uso de antiespumantes gera custos na operação de lavagem devido ao seu uso contínuo, porém, para manter a velocidade de rotação desejada nos filtros e estabilidade do processo, se faz essencial sua utilização (SILVA; BASTOS, 2010).

A dosagem de antiespumante usada, depende de sua qualidade, potencial de ação, qualidade polpa celulósica, tipo de fibra, bem como a supervisão dos operadores que estão envolvidos (SILVA; BASTOS, 2010).

De acordo com Dance e Reeve (1996), as principais vantagens obtidas com o uso de antiespumante em filtros lavadores, são:

- Maior quantidade de sólidos no licor negro;
- Massa celulósica mais limpa;
- Aumento na produção de massa celulósica;
- Maior eficiência na operação de lavagem;
- Menos quantidade de uso de NaOH para make up na caldeira de recuperação;
- Menor uso de químicos nas máquinas de papel;
- Economia de energia na evaporação.

## **2.4 Revisão bibliográfica**

De forma a avaliar a importância e propostas alternativas de melhoria de eficiência de filtração em processos industriais, alguns trabalhos da literatura foram elencados para destacar a relevância deste estudo e, de forma resumida, seus resultados e contribuições são descritas a seguir.

Silva e Bastos (2010) implementaram um sistema de informações na linha de lavagem de fibra marrom em uma fábrica de papéis, contribuindo facilitação de rastreabilidade de variáveis e condições de processos que possam sofrer distúrbios, isso contribuiu para o melhoramento da eficiência na operação de lavagem e, conseqüentemente, na produção.

Após a mudança do método de cocção de cavaco em um digestor contínuo, de Lo-Solid para Down Flow Lo-Solid, Saavareda (2011) conseguiu reduzir em 42% o consumo de antiespumante na lavagem de polpa, causando um grande impacto econômico no processo. Vale ressaltar que o método de cozimento Lo-Solid é um dos mais modernos em digestores contínuos.

Em seus estudos, Mendes (2013), após fazer uma série de ajustes, como redução de fluxo dos chuveiros lavadores, ajuste de vácuo, ajuste de fator de diluição, entre outros, conseguiu aumentar a eficiência da lavagem em uma linha produção de fibra branca, onde os impactos foram: a inserção de um filtrado mais limpo na entrada, aumento no grau de deslignificação, elevação da alvura na entrada do branqueamento e redução cloro ativo e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Os ajustes renderam aproximadamente R\$ 2.762.660,99, contabilizando esse valor somente com a redução de dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio.

Almeida (2018) estudou o tratamento e reutilização de efluentes de uma planta de branqueamento de polpa, na própria planta de branqueamento, como filtrado de lavagem da polpa do estágio Pré-O<sub>2</sub>, sem gerar diferença significativa na produção de produto final. Isso possibilitou alteração positiva no balanço da fábrica e as propriedades mecânicas das fibras brancas foram mantidas.

Elbacha et al. (2020), buscando avaliar a redução de consumo de energia e aumento da eficiência energética de bombas das linhas de descarga e filtros lavadores, observou que 80% da ocorrência que levaram a um by-pass de etapas de lavagem, eram advindas de falhas operacionais, com isso, propôs-se um projeto que impactaria diretamente na eficiência da lavagem e eficiência energética da planta.

Hinkkanen (2022), após alterar o circuito de controle de aplicação de antiespumante numa linha de produção de fibras celulósica, obteve economia de aproximadamente 17% na dosagem de antiespumante. A aplicação se deu de maneira empírica, sendo testado as dosagens e aplicações diretamente na linha de produção de fibras. O autor obteve economias ambientais e financeiras com seu estudo.

O incentivo de estudos desse cunho, auxilia e instiga novos pesquisadores a sempre buscar o desenvolvimento e melhoramento de processos dentro da indústria de papel e celulose. A troca de informações proporciona a descoberta de novos rumos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Testes de laboratório

Para análise e comparação entre o tempo de ação dos diferentes antiespumantes avaliados, foram realizados testes de laboratório. O teste de bancada consistiu na recirculação de filtrado obtido do processo, através de um sistema bomba centrífuga de bancada e uma proveta de aproximadamente 1 litro. A dosagem específica foi determinada pelo fornecedor, determinado através de posteriores testes empíricos desde o início de seu uso.

Tendo em vista que a quantidade específica do Produto A utilizado é de 0,225 kg/adt, ou seja, massa de antiespumante por massa seca de celulose produzida, manteve-se a proporção e ordem de grandeza para essa medida com licor, ou seja, 0,225 kg/m<sup>3</sup>. Essa proporção foi definida de acordo com o andamento dos testes em laboratório, pois reproduzir a relação exata entre consumo de licor por tonelada de fibra produzida (m<sup>3</sup>/adt) é inviável, devido a todos os parâmetros que envolvem a escala industrial, como temperatura, pressão, condições mecânicas do filtro. Sendo assim, afim de testar a eficiência intrínseca dos antiespumante, foi definida essa relação.

Coletou-se uma alíquota de aproximadamente 3 litros de licor de extração que sai direto do digestor, especificamente de fibra longa, por gerar mais extrativos e por não conter antiespumante residual na linha.

Para a recirculação do licor, foi tomada uma alíquota de 300 mL e para isso, foi necessário calcular a quantidade de Produtos A e B a serem aplicadas no teste, mantendo a proporção usada em escala industrial, assim como definido na Equação (6).

$$m_A = CEA_A * V_L \quad (6)$$

- $m_A$ : massa de Produto A (kg).
- $CEA_A$ : Consumo específico de A (kg/m<sup>3</sup>).

- $V_L$ : Alíquota de volume de licor ( $m^3$ ).

Tendo em vista que o antiespumante é dado em solução aquosa, com concentração e densidade aproximadas de 1 kg/L, foi necessário realizar uma diluição para facilitar o teste, sendo que a quantidade a ser pipetada era muito pequena. Com isso, estipulando uma alíquota de 1 mL ( $\pm 0,001$  mL) a se pipetar e tomando 2 mL ( $\pm 0,01$  mL) da solução concentrada, a concentração da diluição foi obtida pela da Equação 7.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (7)$$

- $C_1$  = Concentração inicial de A ou B (kg/L)
- $V_1$  = Volume inicial de A ou B (L)
- $C_2$  = Concentração final de A ou B (kg/L)
- $V_2$  = Volume final de A ou B (L)

Como a bomba utilizada para recirculação de licor possuía certa limitação, o teste seguiu um padrão temporal, sendo 5 minutos de recirculação sem adição de antiespumante, 15 minutos de recirculação após a adição de antiespumante e 5 minutos ou mais de bomba desligada entre um ensaio e outro. Os tempos foram estabelecidos afim de não prejudicar a integridade do aparelho e manter seu funcionamento correto. A análise do volume reduzido (mL) foi feita pela diferença do volume inicial (mL), dentro dos 5 minutos iniciais de recirculação, e do volume final (mL), próximo ao fim dos 15 minutos de recirculação após a aplicação do antiespumante, como definido na Equação (8).

$$\Delta V = V_i - V_f \quad (8)$$

- $\Delta V$  = Volume de espuma reduzido (mL).
- $V_i$  = Volume de espuma inicial (mL).
- $V_f$  = Volume de espuma final (mL).

As proporções de dosagem do Produto A para o Produto B foram de 0%, 20%, 30% e 40% a mais, ou seja, nos ensaios com o Produto B foram utilizadas alíquotas de 1mL, 1,2 mL, 1,3 mL e 1,4 mL e com isso, a partir dos resultados de eficiência e das quantidades necessárias



para manter a redução de espuma foi possível analisar a viabilidade econômica da aplicação do produto.

### 3.2 Análise da viabilidade econômica

Como o intuito do trabalho é avaliar economicamente a aplicação de um novo antiespumante, baseado no seu valor específico (UM/kg), foi necessário avaliar a produção total anual média de celulose, correlacionando-a com o valor específico e quantidade total usada durante o ano, como apresenta a Equação (9).

$$CT_{A,B} = CEA_{A,B} * PTC * PEA_{A,B} \quad (9)$$

- $CT_{A,B}$ : Custo total anual de A ou B (UM/ano).
- $CEA_{A,B}$ : Consumo específico de A ou B (kg/adt).
- PTC: Produção total de celulose (adt/ano).
- $PEA_{A,B}$ : Preço específico de A ou B (UM/kg).

Com isso, sempre tendo o Produto A como base, é feita a diferença entre o custo total anual do Produto A e o custo total do Produto B em suas diferentes dosagens específicas, que significa diretamente o montante do valor anual economizado (M), conforme descrito na equação (10).

$$M = \Delta CT = CT_A - CT_B \quad (10)$$

- M: Montante do valor anual economizado (UM/ano).
- $\Delta CT$ : Diferença de custo entre o Produto A e o Produto B (UM/ano).
- $CT_A$ : Custo total anual de A (UM/ano).
- $CT_B$ : Custo total anual de B (UM/ano).

Tendo os valores em UM, foi possível mensurar a economia gerada, determinado um modelo, juntamente com uma análise de sensibilidade que correlaciona M e a porcentagem do aumento do valor específico do Produto B, bem como definir em porcentagem a economia gerada, conforme a Equação (11).

$$M(\%) = \left(1 - \frac{CT_B}{CT_A}\right) * 100 \quad (11)$$

### 3.3 Plano de ação

Com base em testes de laboratório e na avaliação da unidade monetária (UM) por Kg de antiespumante, pelo fornecedor, foi apresentada uma nova proposta motivadora para troca desse produto num filtro lavador de polpa celulósica. Com isso, para melhor estruturação da proposta, tendo em vista que a causa da formação de espuma no filtro já foi mapeada, será utilizado a ferramenta 5W2H para implementação do novo procedimento.

A ferramenta 5W2H trata-se de uma ferramenta prática, sendo possível desenvolver um checklist para levantamento das atividades importantes do projeto, determinando as motivações, prazo, local, quem irá participar, custos (DE PAULA, 2015).

A sigla do nome da planilha é formada por 7 perguntas em inglês, sendo elas:

Os 5 W:

- What (o que será feito)?
- Why (por que será feito)?
- Where (onde será feito)?
- When (quando será feito)?
- Who (por quem será feito)?

Os 2 H:

- How (como será feito)?
- How Much (quanto vai custar)?

Com isso, essa ferramenta é formada por essas sete perguntas norteadoras que podem direcionar o gestor do projeto, formando um quadro de atividades, facilitando a execução do projeto. Para o presente estudo, a pergunta “How Much” levantará a possível economia que a mudança de antiespumante poderá trazer.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resultados dos testes em laboratório

Sabendo que a dosagem específica do Produto A é de  $0,225 \text{ kg/m}^3$ , definiu-se a quantidade desse produto para a alíquota de 300 mL de licor, de acordo com a Equação (6).

$$m_A = 0,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0003 \text{ m}^3 = 67,5 \mu\text{kg} = 67,5 \text{ mg}$$

Calculou-se somente a massa específica para A e reproduz-se o aumento das dosagens de acordo com as porcentagens referidas.

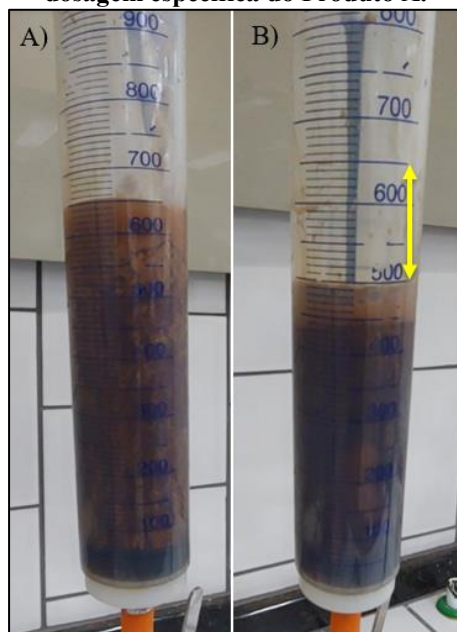
Como a densidade do Produto A e B são de  $1 \text{ kg/L}$ , então  $67,5 \mu\text{kg}_{A,B}$  são equivalentes a  $67,5 \mu\text{L}_{A,B}$ .

Tratando-se de uma quantidade de volume de antiespumante muito pequena, se fez necessário realizar a diluição da solução concentrada. Com o intuito de pipetar 1 mL da solução diluída, tomando 2 mL da solução concentrada, a partir da Equação (7) é definido o volume de água a se atingir, juntamente com os 2 mL da solução concentrada.

$$\begin{aligned} C_1 * V_1 &= C_2 * V_2 \\ 1 \frac{\text{kg}}{1000\text{mL}} * 2\text{mL} &= 67,5 \mu \frac{\text{kg}}{\text{mL}} * V_2 \\ V_2 &= 29,62 \text{ mL} \end{aligned}$$

Para analisar o comportamento do Produto A, antes e depois de sua adição, verificou-se a quantidade de espuma reduzida, conforme mostra a Figura 12.

**Figura 12: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com a dosagem específica do Produto A.**



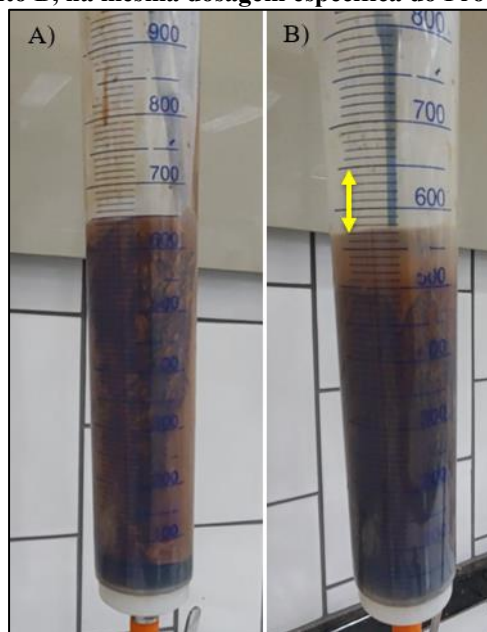
**Fonte: Autoria própria (2022).**

Pode-se notar um redução de espuma de aproximadamente 150 mL e durante os 15 minutos de recirculação esse volume se manteve estável, indicando uma ação mais prolongada do antiespumante.

Como especificado, as limitações da bomba contribuem somente para aferição do volume de espuma reduzido, sendo que a adição de antiespumante ocasiona parada do rotor da bomba, possivelmente devido a uma maior agregação de sólidos contidos no licor. Isso acontece para todas as dosagens dos Produtos A e B.

A mesma análise foi feita para o Produto B com dosagem específica igual à do Produto A, a Figura 13 mostra o desempenho de antiespumante.

**Figura 13: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, na mesma dosagem específica do Produto A.**

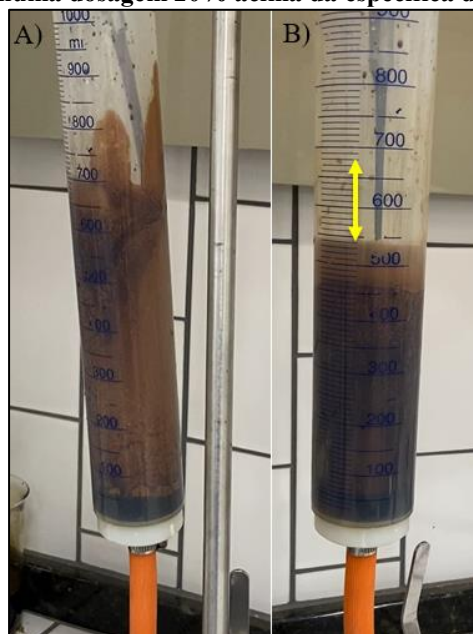


**Fonte: Autoria própria (2022).**

Como era de se esperar, a performance do Produto B é menor em comparação a do Produto A, contribuindo para uma redução de aproximadamente 80 mL de espuma, porém, após decorridos os 15 minutos o volume reduzido ainda se mantinha estável, indicando também uma ação prolongada do Produto B.

Com isso, pensando em buscar uma performance similar, fez-se necessário o aumento da dosagem do Produto B para 20% em comparação a dosagem do Produto A. O resultado é expresso na Figura 14.

**Figura 14: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, numa dosagem 20% acima da específica do Produto A.**

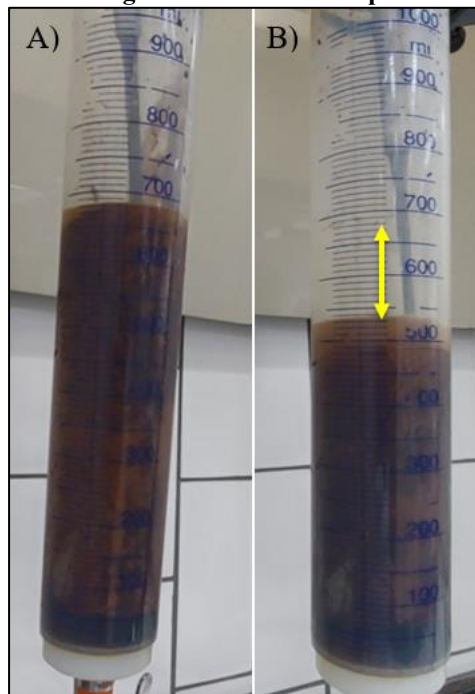


**Fonte: Autoria própria (2022).**

Com o aumento da dosagem do Produto B, os resultados já começam a se tornar promissores. Havendo uma diminuição de aproximadamente 140 mL, um aumento de 20% mostra uma melhora significativa na performance do antiespumante, tendo em vista que entre 14 e 15 minutos de recirculação, o Produto B ainda provoca uma sutil redução de volume de espuma, indicando uma ação prolongada.

Para tal, aplicou-se uma dosagem de 30% acima da específica do Produto A. Os resultados são apresentados na Figura 15.

**Figura 15: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, numa dosagem 30% acima da específica do Produto A.**

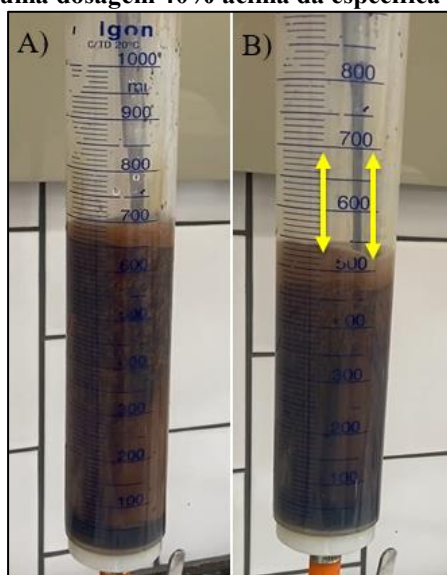


**Fonte: Autoria própria (2022).**

Com a dosagem 30% acima da específica, os resultados se mostram satisfatórios, com redução de espuma de aproximadamente 150 mL, igualando a quantidade de espuma reduzida com o Produto A. Assim como a dosagem de 20% a mais, no final dos 15 minutos de recirculação ainda havia uma sutil queda do volume de espuma, mostrando uma ação prolongada do produto.

Para validar a eficácia do Produto B com o aumento das dosagens, aplicou-se um aumento de 40% na dosagem específica. Os resultados são apresentados na Figura 16.

**Figura 16: A) Quantidade de espuma gerada inicialmente. B) Quantidade de espuma reduzida com o Produto B, numa dosagem 40% acima da específica do Produto A.**



Fonte: Autoria própria (2022).

Com aproximadamente 160 mL de volume de espuma reduzido, nota-se aumento gradativo de performance com o aumento da dosagem específica. Vale ressaltar que a realização de uma média para definir o volume final de espuma desse último ensaio, que variou entre 540 e 520 mL, tendo em vista que a interface superior de espuma se encontrava irregular. A Tabela 3 mostra os volumes iniciais, finais e o volume reduzido em cada ensaio proposto, conforme calculados pelas Equação (8).

**Tabela 3: Demonstração da redução de espuma por produto.**

Produto	Dosagem específica (KgA,B/m <sup>3</sup> )	Volume inicial (mL) (± 10 mL)	Volume final (mL) (± 10 mL)	Volume reduzido (mL) (± 10 mL)	% de espuma reduzida
A	Padrão	650	500	150	23
	0%	650	570	80	12
B	20%	680	540	140	21
	30%	680	530	150	22
	40%	690	520	160	25

Fonte: Autoria própria (2022).

Como pode-se perceber na Tabela 3, a efetividade varia de acordo com a dosagem de Produto B utilizada, sendo que essas variáveis são proporcionais, no entanto, afim de correlacionar efetividade e economia, nota-se uma promissora performance em relação ao



Produto B em relação ao Produto A, a uma dosagem específica 30% maior, por manter a efetividade.

## 4.2 Análise econômica

Após a realização dos testes em laboratório, é possível orçar e determinar uma economia, baseado na quantidade total de antiespumante usado e na quantidade de celulose produzida durante o ano. Como base na quantidade produzida, através de métodos de controle da empresa, determina-se uma produção aproximada de 611.000 adt/ano de celulose. A Tabela 4 apresenta os valores específicos dos produtos A e B e suas dosagens no teste de laboratório.

**Tabela 4: Mostra de valores dos Produtos A e B.**

Produção total de celulose (adt/ano)	Valor do Produto A (UM/kg)	Valor do Produto B (UM/kg)	Consumo específico (kg/adt)	Aumento consumo específico de B
				0%
611.180,9	23,6	16,8	0,225	20%
				30%
				40%

Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme os dados apresentados na Tabela 4 é possível determinar o custo total anual do Produto A, do Produto B e suas diferentes dosagens, conforme Equação (9).

- Para o Produto A:

$$CT_A = 0,225 \frac{kg}{adt} * 611.118,9 \frac{adt}{ano} * 23,6 \frac{UM}{kg} = 3.245.370,58 \frac{UM}{ano}$$

- Para o Produto B na mesma dosagem específica:

$$CT_B = 0,225 \frac{kg}{adt} * 611.118,9 \frac{adt}{ano} * 16,81 \frac{UM}{kg} = 2.311.639,96 \frac{UM}{ano}$$

- Para o Produto B com aumento de 20% na dosagem específica:

$$CT_B = 0,225 \frac{kg}{adt} * 1,2 * 611.118,9 \frac{adt}{ano} * 16,81 \frac{UM}{kg} = 2.773.966,75 \frac{UM}{ano}$$

- Para o Produto B com aumento de 30% na dosagem específica:

$$CT_B = 0,225 \frac{kg}{adt} * 1,3 * 611.118,9 \frac{adt}{ano} * 16,81 \frac{UM}{kg} = 3.005.130,65 \frac{UM}{ano}$$

- Para o Produto B com aumento de 40% na dosagem específica

$$CT_B = 0,225 \frac{kg}{adt} * 1,4 * 611.118,9 \frac{adt}{ano} * 16,81 \frac{UM}{kg} = 3.236.294,54 \frac{UM}{ano}$$

Possuindo os valores dos custos de cada produto, pode-se definir a quantidade de unidades monetárias a se economizar, conforme a Equação (10).

- Para a mesma dosagem específica:

$$M = \Delta CT = 3.245.370,58 \frac{UM}{ano} - 2.311.639,96 \frac{UM}{ano} = 933.731,62 \frac{UM}{ano}$$

- Para um aumento de 20% na dosagem específica:

$$M = \Delta CT = 3.245.370,58 \frac{UM}{ano} - 2.773.966,75 \frac{UM}{ano} = 471.403,83 \frac{UM}{ano}$$

- Para um aumento de 30% na dosagem específica:

$$M = \Delta CT = 3.245.370,58 \frac{UM}{ano} - 3.005.130,65 \frac{UM}{ano} = 240.239,93 \frac{UM}{ano}$$

- Para um aumento de 40% na dosagem específica:

$$M = \Delta CT = 3.245.370,58 \frac{\text{UM}}{\text{ano}} - 3.236.294,54 \frac{\text{UM}}{\text{ano}} = 9.076,04 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}$$

Com o auxílio da Equação (11) é possível definir o percentual do montante total economizado.

- Para a mesma dosagem específica:

$$M (\%) = \left( 1 - \frac{2.311.639,96 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}}{3.245.370,58 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}} \right) * 100 = 28,8\%$$

- Para um aumento de 20% na dosagem específica:

$$M (\%) = \left( 1 - \frac{2.773.966,75 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}}{3.245.370,58 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}} \right) * 100 = 14,5\%$$

- Para um aumento de 30% na dosagem específica:

$$M (\%) = \left( 1 - \frac{3.005.130,65 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}}{3.245.370,58 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}} \right) * 100 = 7,40\%$$

- Para um aumento de 40% na dosagem específica:

$$M (\%) = \left( 1 - \frac{3.236.294,54 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}}{3.245.370,58 \frac{\text{UM}}{\text{ano}}} \right) * 100 = 0,28\%$$

A Tabela 5 apresenta de maneira mais organizada os custos dos Produtos A e B e as economias totais geradas pela proposta de troca de antiespumante, conforme as diferentes dosagens específicas.

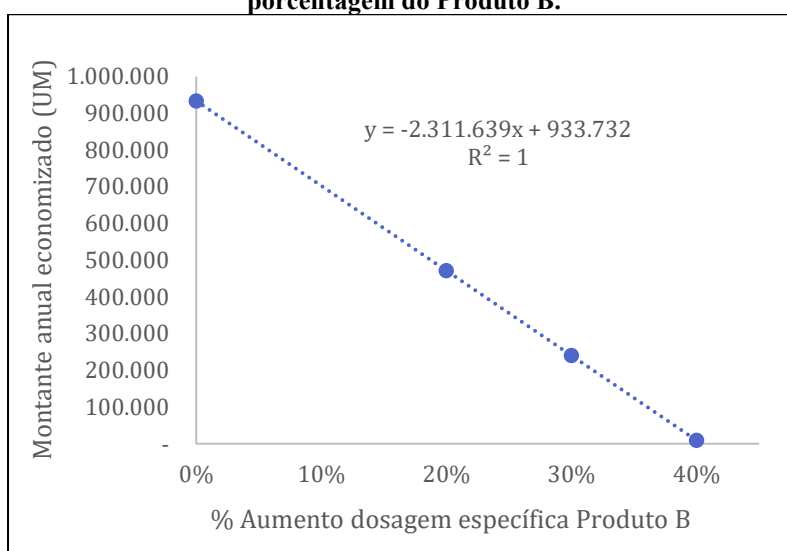
**Tabela 5: Mostra de custos totais e economias.**

Custo Produto A (UM/ano)	Aumento consumo específico de B	Custo Produto B (UM/ano)	Economia (UM/ano)	Redução custo
3.245.370,58	0%	2.311.638,96	933.731,62	28,8%
	20%	2.773.966,75	471.403,83	14,5%
	30%	3.005.130,65	240.239,93	7,40%
	40%	3.236.294,54	9.076,04	0,28%

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir disso, também é possível determinar um modelo e fazer uma análise de sensibilidade, conforme demonstrado na Figura 17.

**Figura 17: Análise de sensibilidade do montante economizado pelo aumento da dosagem específica em porcentagem do Produto B.**

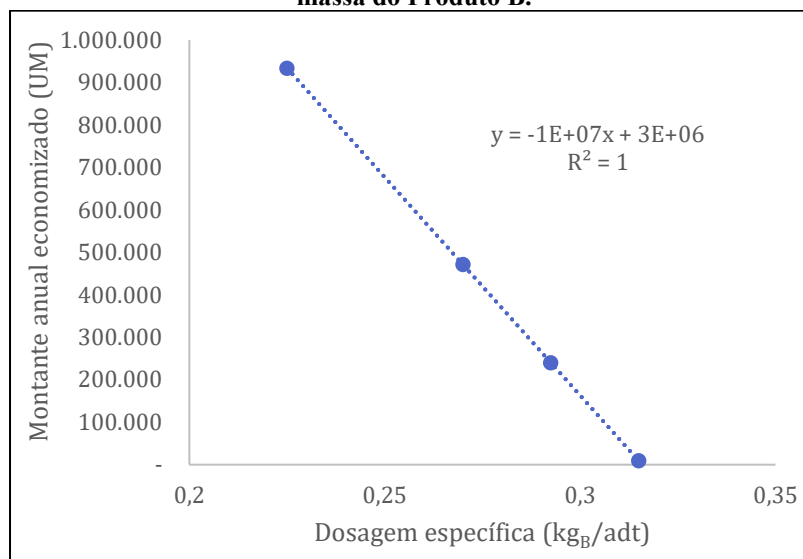


Fonte: Autoria própria (2022).

Nota-se a projeção de um modelo linear, sendo que o montante anual economizado depende da porcentagem de aumento da dosagem específica, ou seja, quanto maior a dosagem, menor economia, como é de se esperar. A partir dessas análises, é possível averiguar que a substituição do Produto A pelo Produto B em uma dosagem específica 30% maior é a mais promissora, trazendo uma diminuição de custos aproximadamente 240 mil UM/ano, que representa aproximadamente 7% do valor atual, mantendo a eficiência da operação de lavagem no filtro.

Com isso, é possível mensurar a economia dependendo da dosagem específica em massa de antiespumante, como definido na Figura 18, afim de corroborar com a Figura 17 acima.

**Figura 18: Análise de sensibilidade do montante economizado pelo aumento da dosagem específica em massa do Produto B.**



Fonte: Autoria própria (2022).

### 4.3 Plano de Ação

Conforme descrito, após análise da viabilidade econômica e performance do antiespumante, através da metodologia 5W2H, é possível determinar um plano de ação para o desenvolvimento do trabalho, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Tabela 5W2H para estruturação do planejamento do projeto.

What?	Why?	Where?	When?	Who?	How?	How much?
Troca do antiespumante usado, afim de manter ou melhorar a performance do filtro lavador de uma linha de produção de kraft marrom, diminuindo custos.	O antiespumante atual possui maior eficiência em comparação ao novo produto proposto, porém o preço por Kg é maior, sendo assim, dosando mais (20%, 30% ou 40%) é possível a busca pela mesma eficiência por um custo menor.	No recalque de uma bomba que antecede o filtro lavador em questão, tendo em vista o tempo de ação do antiespumante.	Assim que o cascadeamento de autorização de todas as áreas relacionadas (meio ambiente, segurança, processos, área cliente) for aprovado. Previsão para mudança na aplicação ainda está em estudo.	Os fornecedores da empresa terceirizada, juntamente com a equipe de operação da área.	O produto será mantido em um tanque de 1,5 m <sup>3</sup> e bombeado de acordo com o set-point determinado pela operação, que a princípio, será igual a quantidade específica orçada, ou seja, 0,225 kg/adt.	Para os aumentos no consumo específico de 0%, 30%, 35% e 40% do no Produto B, a economia percentual gerada será de 28,8%, 14,5%, 7,40% e 0,28% respectivamente.

Fonte: Aatoria própria (2022).

O planejamento e plano de ação propostos na Tabela 6 ajudam a organizar a implementação do novo produto, tendo em vista que a substituição e efeito são imediatos, pois, o kit de armazenamento já está instalado, havendo somente a substituição do antiespumante, a princípio, sem maiores dificuldades.

## 5 CONCLUSÕES

Com os testes realizados em laboratórios é possível verificar a eficiência de cada produto, bem como identificar parcialmente a dinâmica de ação de cada produto, em especial do Produto B em suas diferentes dosagens.

É possível dizer que a aplicação do Produto B a uma dosagem 30% maior que a já usada com o Produto A é promissora, promovendo uma redução do mesmo volume de espuma em um intervalo de tempo prolongando (mais de 15 minutos). A aplicação dessa dosagem impacta num montante anual economizado de aproximadamente 240 mil UM/ano, ou 7,40% de redução de custo com antiespumante na linha de produção de fibra marrom. Com isso, considera-se viável a substituição do Produto A pelo Produto B.

Sabe-se que os parâmetros de processo em escala industrial variam, então, é possível reduzir ainda mais essa quantidade de antiespumante, sendo que em trabalhos futuros, a intenção é analisar sua performance em escala industrial e testar novos pontos de aplicação. Junto a possíveis novas adaptações de aplicação no processo, pode-se quantificar, por meio do modelo proposto, quais serão os novos custos de aplicação de novas dosagens.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. B. Z. **Tratamento e recirculação de filtrado ácido do branqueamento para lavagem da polpa deslignificada com oxigênio**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2018.
- ATKINS, P.; JONES, L.; **Princípios de Química, questionando a vida moderna e o meio ambiente**; 5ª Ed, Bookman Companhia Ed., 2011.
- CANTREL, J. **Brownstock Washing Cost Optimization**. Tappi Peers. St.Louis, MO 2019.
- CARDOSO, G. S. **Fabricação de celulose**. 2ª. Ed. Curitiba, 2009.
- DENCE, C. W.; REEVE, D. W. – **Washing and Washers**. TAPPI PRESS. Atlanta, 1996.
- DE PAULA, G. B. **O que é 5W2H: reduza incertezas, ganhe produtividade e aprenda como fazer um plano de ação**. Treasy, 8 de novembro de 2015. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/5w2h/>. Acesso em: 20 de outubro de 2022.
- DING, S. Y.; HIMMEL, M. E. The maize primary cell wall microfibril: a new model derived from direct visualization. **J. Agric. Food Chem.** 2006, 54, 597.
- ELBACHA, B. S., CUNHA, W. A., BARBOSA, R. C. **Otimização operacional em linha de descarga do digestor e filtros lavadores de polpa em uma indústria de celulose: Estudo de caso**. 04 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/3869>. Acesso em 21 de novembro de 2022.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. **Walter de Gruyter**, v. 613, p. 1960-1982, 1989.
- FOGAÇA, J. R. V. **Espuma – Um Tipo de Dispersão Coloidal**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/espuma-um-tipo-dispersao-coloidal.htm>. Acesso em 12 de setembro de 2022.
- GOMIDE, J.L. – **ENF 564 – Tecnologia em Celulose**. Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel, UFV. Viçosa, abril, 2001.
- HINKKANEN, I. **Defoamer dosing optimisation based on financial and environmental savings**. Master's thesis (Master in Chemical Engineering). Master's programme in Chemical Engineering and Water treatment, Lappeenranta–Lahti University of Technology, Finland, 2022.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2021**. São Paulo: Ibá, 2021.
- KLOCK, U. **Celulose**. 2017. Notas de aula. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/3869>. Acesso em 13 de dezembro de 2022.

KONDO, T. The relationship between intramolecular hydrogen bonds and certain physical properties of regioselectively substituted cellulose derivatives. **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics**, v. 35, n. 4, p. 717-723, 1997.

LIMA, L.S. Coloide, **Rev. Ciência Elem.**, v2(4): 282. 2014.

LU, Y.; YANG, B.; GREGG, D.; SADDLER, J. N.; MANSFIELD, S. D. Cellulase adsorption and an evaluation of enzyme recycle during hydrolysis of steam-exploded softwood residues; **Appl. Biochem. Biotechnol.** 2002.

MACIEL, H. M.; KHAN, A. S. “O Índice de Ecoeficiência em âmbito internacional: uma análise comparativa do desempenho de 51 países entre os anos de 1991 e 2012”. **Sustentabilidade em Debate**, v. 8, n. 1, pp. 125-140, 2017.

MENDES, A.F. **Impacto da lavagem de polpa marrom no branqueamento, na evaporação e no meio ambiente.** Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Departamento de Engenharia Florestal - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2013.

PEDRAZZI, C. Avaliação morfológica das fibras de polpas Kraft de Eucalipto com diferentes conteúdos de Xilanas. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 515-522, dez. 2013.

PEGO, M. F. F.; BIANCHI, M. L.; VEIGA, T. R. L. A. Avaliação das propriedades do bagaço de cana e bambu para produção de celulose e papel. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of agricultural and environmental sciences**. v. 62, 2019.

PHILIPP, P; D’ALMEIDA, M. L. O. Celulose e Papel: Tecnologia de fabricação de pasta celulósica, v.1, 2ª ed., **São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A**, 1988.

POLOWSKI, D. C. **Avaliação de Sistemas de Lavagem de polpa Marrom utilizando simulador de Balanço de Massa.** Monografia de Conclusão de Curso de Pós-Graduação da Universidade Presbiteriana de Mackenzie. São Paulo, 2012.

RAMOS, L.P. The Chemistry Involved in the Steam Treatment of Lignocellulosic Materials. **Quim. Nova**. 2003;

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 6. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 2001.

REEVE, D.W. **Bleaching Technology**. In: Pulp and paper manufacture: 3rd. Ed, v. 5, cap. 14. Montreal, Canadá, Technical Section C.P.P.A. 1983.

SAAVAREDA, D. M. A. **Implementación y modelamiento predictivo de cocción do downflow Lo-Solid em digestor continuo.** Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Departamento de Engenharia Florestal - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, R.; MELLO JÚNIOR, J. A.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; PEREIRA, F. A. Polpação Kraft e Kraft/raq da madeira pré-hidrolisada de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *grandis*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1281-1290, 2016.

SILVA, M. P.; BASTOS, L. C. Sistema de informação para otimização de insumos e perda alcalina na lavagem de celulose marrom aplicado numa fábrica de papéis. In: XVIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – GESTÃO DE PROJETOS E ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2010, Bauru. **Anais [...]**. Bauru, 2010.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp and paper technologists**. TAPPI Press, Atalanta – GA – USA, 1990.

STICKLEN, B. M. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic etanol. **Nature Reviews Genetics**. v.9 p 433-433, 2008.

VENTURELI, W. H. **Estudo da atividade antiespumante de ésteres etílicos derivados de óleos vegetais**. 84f. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.