



PROCESSO KRAFT: DA MADEIRA A POLPA CELULÓSICA – FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE POLPAÇÃO

Marco Antonio Cardoso de Souza¹

Resumo: Devido à alta exigência de qualidade dos produtos de celulose e à degradação causada pelo uso de licor de cozimento à base de NaOH, busca-se realizar melhorias no processo de cozimento para reduzir a quantidade de matéria-prima e produtos químicos que afetam a polpa, ao mesmo tempo em que se almeja elevar a produção. Desta forma diversas indústrias, investem na realização de pesquisas para desenvolver e aprimoramento de aditivos químicos que aperfeiçoem o processo de cozimento para obtenção da pasta celulósica. Dentre estes destaca-se o uso da antraquinona que possibilita a redução da concentração de reagentes e uma deslignificação mais acelerada e dos surfactantes que permitem um cozimento mais homogêneo melhorando a impregnação do licor de cozimento nos cavacos de madeira. O presente estudo busca analisar o processo Kraft para obtenção de celulose e verificar a viabilidade do uso de aditivo de polpação

Palavras-chave: Celulose; Polpação Kraft ; Antraquinona.

Abstract: Due to the high-quality requirements of cellulose products and the degradation caused by the use of NaOH-based cooking liquor, efforts are directed toward improving the cooking process to reduce the amount of raw material and chemicals affecting the pulp, while aiming to increase production. Accordingly, various industries invest in research to develop and optimize chemical additives that enhance the cooking process for cellulose pulp production. Among these, the use of anthraquinone stands out, as it enables a reduction in reagent concentration and accelerates delignification, while surfactants allow for a more homogeneous cooking, improving the impregnation of cooking liquor into the wood chips. The present study aims to analyze the Kraft process for cellulose production and evaluate the feasibility of using pulp additives.

Key-words: Cellulose; Kraft Pulping; Anthraquinone.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Martins (2011) atualmente o Brasil é um dos maiores produtores de

¹ Professor dos cursos de Engenharia, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <marco.souza@unifateb.edu.br>.



papel e de celulose ao redor do globo, entretanto para a realização deste processo utiliza-se o processo Kraft desenvolvido por Carl F. Dahl e ao longo deste processo carboidratos como os da celulose podem ser atacados quimicamente com os licores utilizados para promover a deslignificação da madeira. Visando-se elevar a eficiência do processo produtivo emprega-se o uso de aditivos químicos para melhorar a etapa de polpação e deslignificação sem agredir a celulose (SOUZA, 2014).

O presente estudo visa explicar e detalhar de forma clara os principais fundamentos do processo de polpação Kraft e o uso de aditivos empregados na polpação alcalina Kraft como a antraquinona e os surfactantes.

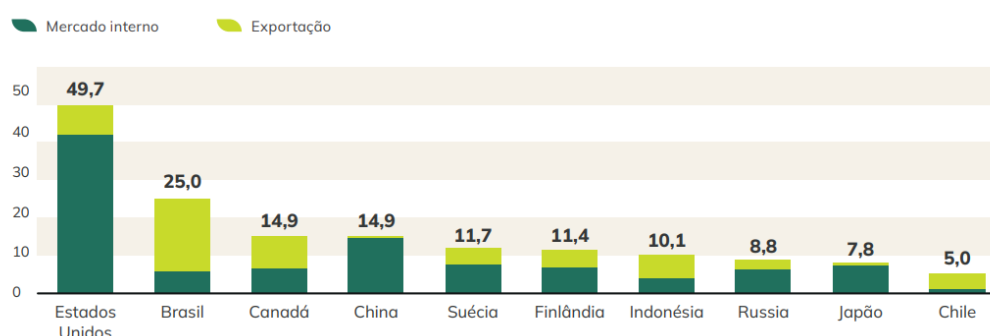
2. DESENVOLVIMENTO

2.1. SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Segundo Oliveira; *et.al.* (2024) atualmente em território brasileiro o setor de produção de celulose e papel consiste em um dos que apresenta os maiores índices de produção, estando em expansão de forma mais acentuada que o de papel, sendo este um dos setores mais competitivos do país (SILVA, 2021).

A Figura 1 apresenta os maiores países produtores de celulose em milhões de toneladas

Figura 1 – Maiores países produtores de celulose (milhões de toneladas)



Fonte: IBÁ (2023)

IBÁ (2023) ainda destaca que a maior parcela da produção de celulose brasileira é destinada para a exportação seja para China, União Europeia, países da América do Norte e do Sul.



E esta celulose produzida é por sua vez empregada para obtenção de produtos tais como papéis de embalagens, livros, papeis para impressão, papel higiênico (SILVA,2021)

Segundo Cunico; *et al* (2021) todo o tipo de matéria fibrosa tais como palha de arroz, bagaço de cana, bambu, entre outros, podem ser empregados para a confecção de polpa celulósica, entretanto em território nacional se aplicam para esta finalidade materiais oriundos de fontes madeireiras geralmente de Pinus ou Eucalipto (CARVALHO,2014).

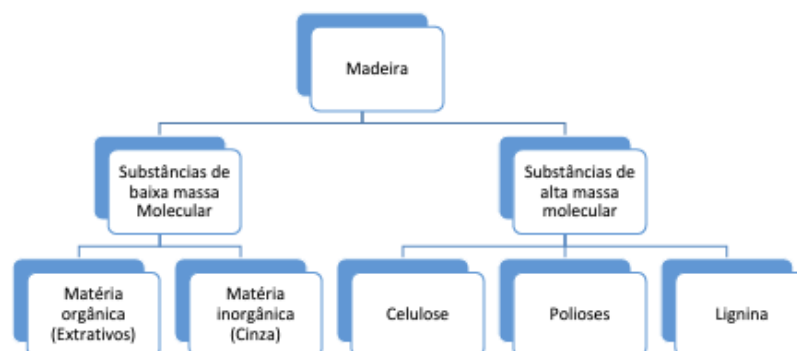
Lima (2023) ainda destaca que dentre as plantações de Pinus e Eucalipto em território nacional a maior quantidade é de Eucalipto com aproximadamente 7,53 milhões de hectares, enquanto para Pinus a quantidade é de aproximadamente 1,93 milhão de hectares.

Entretanto o conhecimento sobre a estrutura da madeira é de extrema importância para a compreensão a análise do processo de fabricação da celulose e do papel, destaca-se ainda que os principais componentes da madeira são a celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e cinzas (KLOCK, 2005)

2.1. ESTRUTURA DA MADEIRA

Conforme descrito por Lima (2023) os componentes da estrutura da madeira são subdivididos entre aqueles que apresentam baixa massa molecular e os que apresentam alta massa molecular conforme demonstrado na Figura 2

Figura 2 - Composição da Madeira



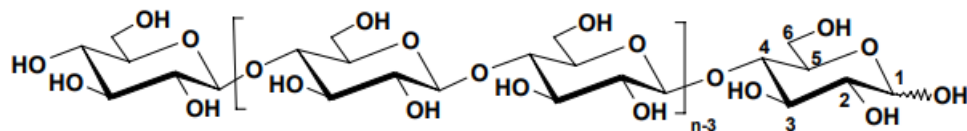
Fonte: Lima (2023)



Desta maneira a estrutura da parede celular é composta principalmente por uma matriz polimérica quimicamente heterogênea composta em sua maioria por celulose, hemicelulose e lignina (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

Segundo Feitosa (2024) dentre estes componentes o principal constituinte da parede celular é a celulose (Figura 3) sendo esta a matéria prima para a fabricação do papel, este componente consiste em uma substância amorfa e cristalina e possui uma estrutura formada por átomos de carbono, hidrogênio, e oxigênio na forma de D-glucose

Figura 3 – Estrutura da Celulose



Fonte: Adaptado de SIXTA (2006)

Já a hemicelulose segundo Cunico *et al* (2021) pode ser considerada como um elo de ligação entre a celulose e a lignina, sendo esta o resultado da união de variados tipos de açúcares tais como glucose, xilose, manose, galactose (KLOCK, 2005; SOUZA, 2014).

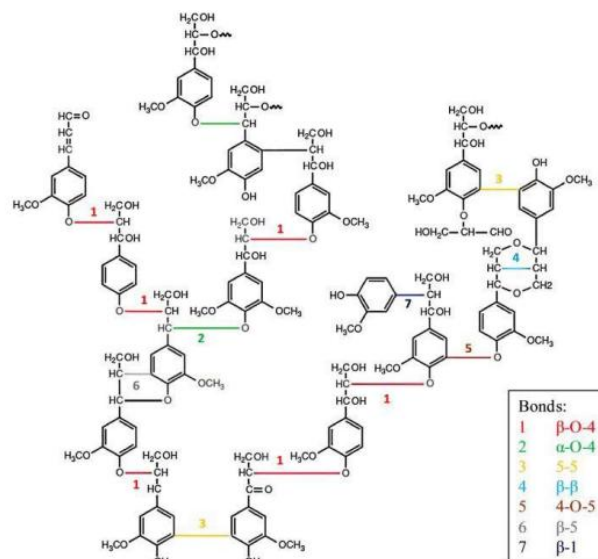
Lima (2023) descreve que outro componente da parede celular de extrema importância consiste na lignina que foi descoberta através de tratamentos ácidos da madeira por Payen, entretanto diferente da celulose que apresenta uma estrutura com repetições de um mesmo monômero de D-glucose, a composição da lignina varia dependendo de árvore para árvore, esta geralmente é composta por unidades de elementos como carbono, hidrogênio e oxigênio e compostos fenólicos (JÚNIOR, ROCHA, NERY; 2014)

A lignina Kraft, gerada como um resíduo do processo Kraft, contém em sua composição guaiacil e siringil, grupos funcionais fenólicos que compõem a estrutura da lignina (GARCÍA *et al.*, 2014)



Jędrzejczak; *et al* (2021) descreve que a lignina (Figura 4) pode ser considerada como o biopolímero aromático mais abundante encontrado na natureza, e o seu teor em materiais primas lignocelulósicas pode variar entre 10 à 35%.

Figura 4 – Estrutura da Lignina



Fonte: Lima (2023)

Esta por sua vez atua como uma matriz polimérica que une as fibras de celulose e de hemicelulose envolvendo as mesmas, garantindo assim uma elevada rigidez e resistência mecânica para a estrutura da parede celular (LIMA, 2023; SALIBÁ; *et al.*, 2001). Antunes (2023) ainda descreve que este componente com estrutura complexa ajuda as plantas a serem mais rígidas, resistentes à água e protegidas contra micro-organismos

Cunico; *et al* (2021) ainda destaca que o teor de lignina presente na estrutura da madeira pode variar entre coníferas e folhosas, entretanto em ambas o teor de celulose é de aproximadamente 45%.

2.2. PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE POLPA CELULÓSICA



Os processos para obtenção da pasta celulósica podem ser divididos em processos mecânicos, químicos ou uma combinação dos processos mecânicos e químicos (SOUZA, CARVALHO e VALADARES; 2015)

Souza, Carvalho e Valadares (2015) descrevem que no processo mecânico grande parcela dos componentes da madeira ainda permanece na pasta celulósica obtida devido ao uso de moinhos de pedra para promover a desfibrilação da madeira, onde uma das principais desvantagens deste processo consiste no elevado consumo energético.

Souza (2014) ainda destaca que os processos químicos empregados para promover a obtenção da polpa celulósica baseiam-se na impregnação dos cavacos com produtos e aditivos que visam separar a celulose dos demais componentes da madeira, em especial a lignina. Dentre estes se destaca o processo Kraft. Assim a celulose pode ser considerada como o produto de interesse do processo e polpação, enquanto a lignina o produto indesejado ou subproduto deste processo (CUNICO; *et al*, 2021)

2.3. PROCESSO KRAFT

Segundo Carvalho (2014) e Souza (2014) o processo Kraft foi criado por Dahl em 1879 e é uma adaptação do processo soda, utilizado para separar as fibras da madeira por meio de substâncias químicas, especialmente em um digestor.

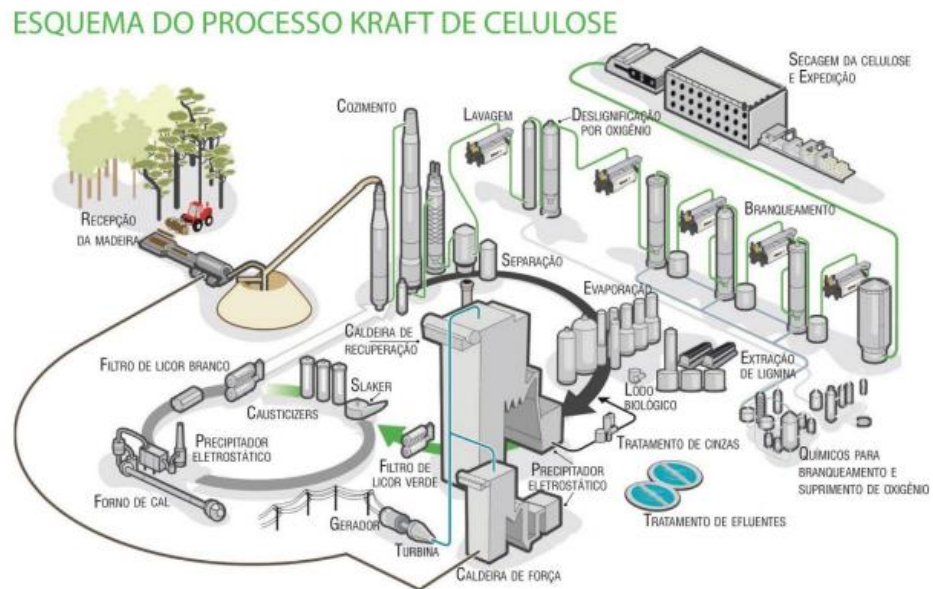
Destaca-se ainda que existem dois tipos de digestores que podem ser utilizado para se fazer uma polpação, que são o digestor em batelada e o contínuo (SOUZA, 2014).

Jorge (2018) descreve que inicialmente para a realização do processo Kraft ocorre o preparo da madeira a ser utilizada no mesmo, onde está é recebida no pátio de madeira, sendo então classificada entre a madeira com e sem casa, as madeiras que ainda apresentam casa são descascadas, e seguem para torres de estocagem, onde são enviadas para picadores que as convertem em cavacos a serem utilizados no decorrer do processo de polpação (ALBERTI, 2014; SILVA, 2021).

A Figura 5 apresenta uma representação do processo Kraft utilizado para a obtenção de celulose e papel



Figura 5 – Representação do Processo Kraft



Fonte: TIMMER (2020)

Cavacos de madeira, como os de Pinus ou Eucalipto, são combinados com licor branco, composto por soda e sulfeto de sódio. Este método é amplamente empregado devido ao seu elevado rendimento e à alta qualidade do produto final, sendo que a temperatura é ajustada para atingir o ponto ideal de cozimento. No entanto, o processo Kraft possui como desvantagem a degradação da celulose devido à presença de soda no licor branco, o que diminui seu rendimento quando comparado ao processo sulfito (ALBERTI, 2014; LIMA, 2023; MOCELIN, 2005).

Alberti (2014) ainda destaca que é de suma importância a realização da análise de parâmetros correlacionados ao processo de cozimento com a finalidade de otimizar este processo e ter um maior controle da qualidade da polpa a ser produzida, sendo estes a temperatura, a concentração dos químicos dosados na polpa e o tempo necessário para o cozimento, ressalta-se ainda que é possível realizar ajustes nestes parâmetros empregados na polpação através de análises da polpa produzida com testes de rasgo, condutividade, álcali ativo, viscosidade, álcali efetivo e número Kappa.

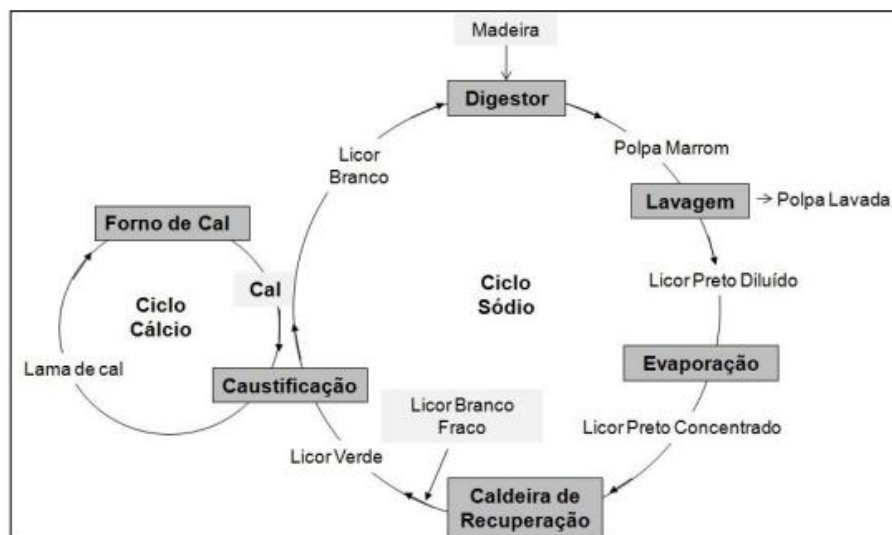


Destaca-se ainda que após a produção da polpa de celulose na etapa do cozimento, esta deve ser depurada e lavada visando a completa remoção de rejeitos de processo como cavacos não cozidos e licores e químicos, e polpa produzida segue para a etapa de armazenamento e posteriormente branqueamento (ALBERTI, 2014).

Desta forma segundo Vakkilainen (2004) e Martinelli (2008) após a realização do processo de polpação, ocorre o surgimento do licor negro que é o resultado da mistura de diversos compostos orgânicos e inorgânicos proveniente tanto da estrutura da madeira quanto dos licores utilizados no processo Kraft para a obtenção da celulose. Este Licor ainda pode ser empregado tanto para geração de energia quanto para reaproveitamento e obtenção dos produtos químicos utilizados no cozimento, dentro das etapas de recuperação química (LIMA, 2023).

A Figura 6 apresenta de forma esquemática e simplificada um fluxograma do ciclo de recuperação química do processo Kraft.

Figura 6 - Ciclo de recuperação química



Fonte: REIS, (2013)

Primitz e Sydney (2020) ressaltam ainda que através de etapas de processos de acidificação do licor negro residual do processo de cozimento, é possível obter novamente a lignina (geralmente na forma de pó) e está pode ser empregada para

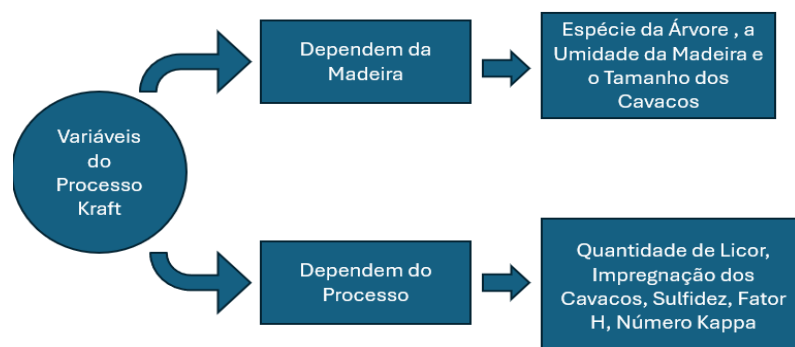


aplicação em outros processos ou ainda na geração de energia no decorrer do processo Kraft (LIMA, 2023)

2.3. VARIÁVEIS DO PROCESSO

As variáveis que afetam o processo Kraft (Figura 7) incluem características da madeira, como a espécie, a umidade e o tamanho dos cavacos, além de fatores do processo, como a quantidade de licor branco, a impregnação dos cavacos, a sulfidez, a relação tempo-temperatura (fator H) e o número Kappa, que indica o grau de deslignificação. (CARDOSO, 2006; SOUZA, 2014).

Figura 7 – Variáveis que afetam o Processo Kraft



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Dentre as variáveis que dependem da madeira destaca-se o tipo de madeira utilizada, sendo esta geralmente oriunda de coníferas como o Pinus que apresenta fibra longa, sendo está ideal para papeis para embalagens pois garante maior resistência ou de folhosas como o Eucalipto que apresenta fibra curta, sendo melhor para obtenção de papeis finos e de impressão (CAMPOS, 2011; FEITOSA, 2024)

Dentre as espécies utilizadas em território nacional a que mais é empregada para esta finalidade é a proveniente de eucalipto (CUNICO; *et al*, 2021)

Em relação ao tipo de madeira Jesus; *et al* (2022) destaca que as madeiras provenientes de coníferas apresentam mais lignina em sua composição do que as madeiras provenientes de folhosas, desta forma necessitam de processos mais



EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



drásticos na etapa de polpação, visando a remoção da lignina, o que se não for devidamente controlado pode agredir a celulose (SOUZA, 2014)

Cunico *et al* (2021) ainda destaca que papeis produzidos com fibras curtas apresentam maior capacidade absorvente e pouca resistência mecânica, enquanto papeis produzidos com fibra longa possuem maior resistência.

A granulometria do cavaco de madeira a ser utilizado pois cavacos grandes são dificilmente cozidos na polpação enquanto os pequenos cozinham muito rapidamente e a umidade da madeira que interfere diretamente na quantidade de licor de cozimento a ser utilizada ao longo do cozimento (CARVALHO, 2014; KLOCK, 2005; SOUZA, 2014).

Silva (2021) ainda complementa que é extremamente importante realizar a devida picagem das toras de madeira, convertendo em cavacos com granulometria ideal, uma vez que cavacos maiores dificultam a penetração do licor, gastando mais produto químico, ou ainda demandando maior temperatura de processo visando atingir o mesmo grau de remoção da lignina, e por sua vez gerando uma maior carga de rejeitos do processo e maior degradação a celulose, enquanto que cavacos menores podem ainda reduzir a resistência da polpa e o seu rendimento. Cavacos que não apresentam o tamanho ideal podem ser queimados para geração de energia (ALBERTI, 2014; LIMA, 2023).

Cunico *et al* (2021) e Lima (2023) ainda destacam que o processo de polpação pode ser influenciado pela densidade da madeira utilizada, que deve preferencialmente estar entre os valores de 0,4 à 0,55 g/cm³, abaixo deste podem ocasionar maior consumo de reagentes durante a polpação, enquanto índices mais elevados de densidade podem dificultar o processo de picagem dos cavacos, gerando cavacos não uniformes, dificultando a etapa de cozimento reduzindo a produção (CARVALHO, 2014)

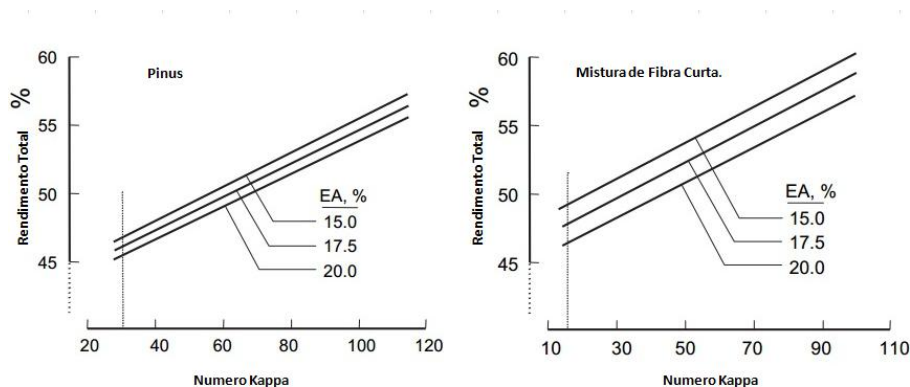
Cardoso (2006) e Souza (2014) descrevem que para as variáveis que dependem do processo de cozimento destaca-se o teor de impregnação dos cavacos com o licor branco, que deve adentrar na estrutura da madeira até a lamela média visando a remoção da lignina, a quantidade de licor de cozimento empregada para a



polpação, que deve ser adequada a fim de evitar uma degradação desnecessária das cadeias de celulose.

Desta forma Alberti (2014) descreve que a carga de álcali utilizada no decorrer do processo de polpação está correlacionada para com o rendimento do processo, onde quanto maior for esta carga, menor será o rendimento para um mesmo número Kappa, pois estes compostos podem degradar a estrutura da celulose enquanto promovem a deslignificação, conforme demonstrado na Figura 8

Figura 8 – Efeito da carga alcalina para a produção de polpa



Fonte: Alberti (2014)

A sulfidez que correlaciona a quantidade de Na_2S e álcali ativo presente no licor de cozimento, a temperatura do processo que deve variar entre 165°C e 170°C , o Fator H que correlaciona a temperatura do processo para com o tempo em que o mesmo é realizado, sendo está uma variável empregada para controlar a intensidade do cozimento e o número Kappa que determina a quantidade de lignina que foi removida do processo durante a etapa de cozimento no digestor (SOUZA, 2014).

Desta forma Alberti (2014) ainda destaca que se não ocorrer um devido processo de deslignificação a polpa resultante terá um maior número Kappa, apresentando maiores índices de lignina, fator este que acarreta um maior consumo de produtos químicos em etapas seguintes do processo como o branqueamento, além de ocasionar o surgimento de um efluente residual com maior carga poluidora (SOUZA, 2019).



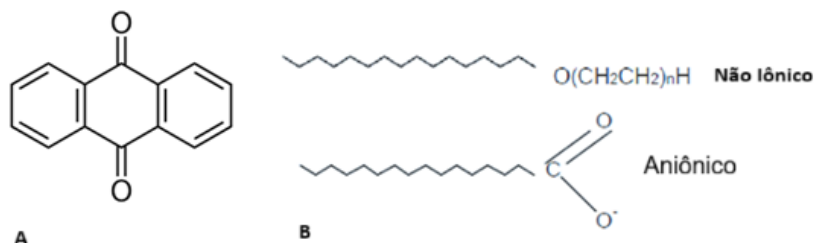
Estes fatores precisam ser rigorosamente controlados para otimizar o processo e garantir a qualidade da celulose produzida, entretanto para aprimorar o desempenho e proteger a celulose, geralmente utilizam-se aditivos como a antraquinona e surfactantes (SILVA, GOMIDE e ALMEIDA; 2002).

2.4. ADITIVOS DE POLPAÇÃO

De acordo com Mocelin (2005) uma vasta gama de estudos são realizados com a finalidade de aperfeiçoar o processo de polpação Kraft elevando o seu rendimento sem degradar a polpa celulósica, seja mantendo ainda algum teor de lignina na polpa elevando o número Kappa ou adicionando aditivos que facilitam a deslignificação na etapa do cozimento, dentre estes destaca-se a antraquinona e os surfactantes.

A Figura 9a apresenta a estrutura da antraquinona, enquanto a figura 9b apresenta a estrutura dos surfactantes não iônicos e aniônicos.

Figura 9 – Estrutura da Antraquinona (a), Surfactante (b)



Fonte: SOUZA (2014)

A antraquinona foi introduzida no processo de polpação Kraft com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir o consumo de vapor e energia. Ela facilita a remoção de lignina sem prejudicar a celulose, além de diminuir a sulfidez, o odor do processo e o tempo de cozimento. Com isso, a antraquinona contribui para uma maior eficiência no processo de fabricação de celulose para papéis de embalagem alimentícia. Sua pureza superior a 98% é uma das suas principais características, tornando-a um aditivo eficiente na indústria (VIVIAN, 2015).



Souza (2014) descreve que durante o processo de polpação Kraft a antraquinona ocasiona a oxidação de grupos redutores da celulose estabilizando assim suas estruturas e evitando a degradação da mesma, durante esta reação a antraquinona se converte em hidroantraquinona, sendo esta solúvel em álcali e que atua na remoção da lignina se convertendo novamente em antraquinona.

Este aditivo ainda proporciona uma menor geração de sólidos no licor negro, a redução da sulfidez do processo, diminuindo assim a emissão compostos reduzidos de enxofre, aumento nos rendimentos brutos e depurados da polpa (CARASCHI; *et al*, 2007)

Apesar das vantagens, o uso da antraquinona apresenta desvantagens significativas, como seu elevado custo e os riscos à saúde. Pesquisas indicam que a antraquinona pode causar reações alérgicas, irritações na pele, olhos e problemas respiratórios, o que exige precauções rigorosas no manuseio. Esses potenciais riscos, principalmente relacionados ao uso de papéis para embalagens alimentícias, têm impulsionado a busca por alternativas mais seguras e eficientes no processo de polpação (SILVA, GOMIDE e ALMEIDA, 2002; SOUZA, 2014).

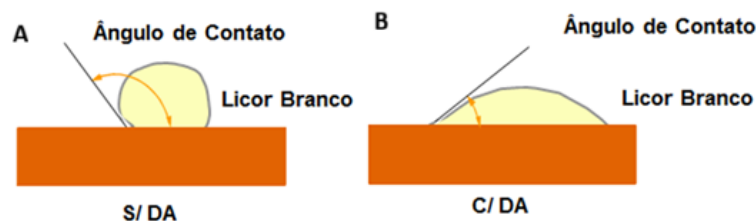
Em contrapartida, os surfactantes têm se mostrado uma alternativa eficaz no processo de cozimento de cavacos para produção de celulose. Esses aditivos químicos reduzem a tensão superficial dos líquidos, facilitando a impregnação dos cavacos e resultando em um cozimento mais uniforme (MOCELIN 2005 e SOUZA; 2014).

O termo surfactante deriva de “*surface active agent*”, pois essas substâncias atuam nas propriedades de superfície dos líquidos. Originalmente usados apenas para aumentar a pureza da celulose para dissolução, os surfactantes são atualmente aditivos químicos tensoativos que auxiliam no cozimento dos cavacos, reduzindo a tensão superficial do licor branco e promovendo uma impregnação mais homogênea. Isso resulta em maior eficiência do cozimento, redução do consumo de licor, aumento da deslignificação sem degradar a celulose, diminuição dos rejeitos do processo e melhor solubilização de extrativos neutros, refletida também na redução do número Kappa (SOUZA, 2014).



A Figura 10 representa a redução da tensão superficial do cavaco quando em contato com o licor branco.

Figura 10 - Redução da tensão superficial do cavaco, sem surfactante (a); com surfactante (b)



Fonte: Adaptado de SOUZA (2014).

Os surfactantes não apenas diminuem o consumo de licor branco e aumentam a deslignificação sem prejudicar a celulose, mas também ajudam na redução do número Kappa e na solubilização de extrativos neutros. Existem diferentes tipos de surfactantes, como não iônicos, aniônicos, catiônicos e anfóteros, cada um com propriedades específicas que beneficiam o processo de polpação, controlando impurezas e melhorando a qualidade da polpa (SOUZA,2014).

A Tabela 1 apresenta uma análise comparativa sobre o uso dos aditivos de polpação (antraquinona e surfactante)

Tabela 1 - Comparação entre Antraquinona e Surfactante

Característica Analisada	Antraquinona	Surfactante
Deslignificação	Acelera a taxa de deslignificação através da catálise da reação entre o licor de cozimento e a lignina.	Acelera a taxa de deslignificação devido a uma melhor impregnação do licor de cozimento no cavaco
Proteção de Carboidrato	Protege os carboidratos de excessivo ataque químico produzido pelo cozimento alcalino.	Proporciona proteção dos carboidratos através da melhor impregnação do cavaco.
Elevação do Rendimento	1-2%	0.7 - 1.5 %
Substitui o Na ₂ S	Sim	Não
Penetração do Cavaco	Não melhora	Melhora
Dispersão de Extrativos	Não dispersa extrativos	Dispersa Extrativos
Consumo de produtos químicos	Diminui	Diminui
Rejeitos	Não afeta o teor de rejeitos	Diminui o ter de rejeitos

Fonte: SOUZA, (2014)



EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



Ressalta-se ainda que o uso de produtos químicos ou de aditivos de polpação podem aumentar quando situações adversas ao processo ocorrem tais como o envio inadequado de cascas junto os cavacos para a etapa de polpação (SILVA, 2021).

Ressalta-se ainda que segundo Caraschi; *et al.* (2007) a realização da adição de aditivos no processo Kraft pode ocasionar um aumento do custo operacional direto, pois é necessário realizar a compra destes aditivos de empresas específicas, entretanto o seu devido uso no processo pode trazer ganhos econômicos indiretos, tais como a produção de uma maior quantidade de celulose por tonelada de madeira utilizada, menos necessidade de paradas de fábrica, e uma redução do gasto de reagentes empregados no branqueamento, devido a menor quantidade de lignina presente na polpa. Desta maneira, quando bem aplicados no processo, os impactos positivos superam os custos, justificando seu uso em fábricas de médio e grande porte (MARTINS, 2011; SOUZA, 2014).

Jorge (2018) destaca que a constante busca sobre o aprimoramento do processo de polpação Kraft, visa sempre a busca da maior rentabilidade possível, obtendo a maior produção a redução dos custos produtivos, dentre estes fatores se destaca a possibilidade da geração de energia elétrica que pode ser aproveitada nas indústrias devido ao processo de concentração do licor negro fraco nas etapas de recuperação química (MARTINELLI, 2008).

Este processo por sua vez ocorre na caldeira de recuperação consiste em uma etapa crucial para manter a viabilidade econômica no decorrer do processo Kraft. Pois além de proporcionar a geração grande quantidade de vapor, que é por sua vez utilizado para produzir eletricidade e também como fonte de calor no processo, ela apresenta a finalidade de atuar como um reator químico, sendo responsável pelas mais diversas reações que recuperam os reagentes de cozimento da madeira usados nos digestores (SANTOS, 2007).

2.5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização do cozimento utilizou-se antraquinona como aditivo químico com o objetivo de melhorar o rendimento do processo. Inicialmente coletou-se uma amostra de 50g de cavaco que foi pesada e levada para a estufa e se determinou o



teor de umidade da madeira e determinação da quantidade necessária de água e de licor branco necessário para o cozimento.

As amostras de cavaco foram adicionadas a um digestor laboratorial em batelada (Figura 11), juntamente com 7,35 L de água de diluição, 6,59 L de uma solução de licor de cozimento juntamente com antraquinona em uma concentração específica. A relação Licor/Madeira foi de 4,5.

Figura 11 – Amostras de Cavacos e Digestor



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O digestor foi fechado e a resistência de aquecimento foi acionada para controlar a temperatura a 160°C. Durante o processo, o tempo de cozimento, o aquecimento e as medições de temperatura e pressão foram rigorosamente monitorados. Após o tempo de cozimento, o digestor foi despressurizado, resfriado e as polpas foram retiradas, lavadas e depuradas.

Devido a não existência de uma única forma para determinação dos valores dos parâmetros correlacionados aos álcalis durante o processo de polpação, para a determinação dos valores dos álcalis total titulável, efetivo e ativo empregaram-se variações da aplicação do método convencional de titulação “ABC” conforme Souza e Melo (2017)

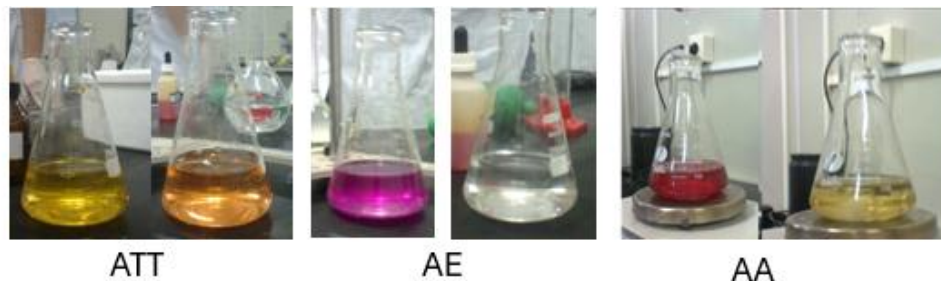
Dessa forma, a determinação do álcali titulável total (ATT) foi realizada por titulação do licor de cozimento com ácido clorídrico em presença de alaranjado de



metila. Para o álcali efetivo (AE), as titulações foram realizadas com o licor negro residual do processo, enquanto o álcali ativo (AA) foi determinado por titulação do licor de cozimento em meio contendo fenolftaleína e alaranjado de metila.

A Figura 12 apresenta respectivamente as análises de álcali titulável total (ATT), álcali efetivo (AE) e de álcali ativo (AA).

Figura 12 – Análise do Álcali Titulável Total (ATT), Álcali Efetivo (AE) e Álcali Ativo (AA)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A Tabela 2 apresenta respectivamente os resultados obtidos para as análises de álcali titulável total (ATT), álcali efetivo (AE) e de álcali ativo (AA).

Tabela 2 – Resultados obtidos para os parâmetros de álcali Titulável Total (ATT), Álcali Efetivo (AE) e Álcali Ativo (AA)

Parâmetro Analisado	Valor Obtido (g/L)
ATT	180
AE	124
AA	129,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Após o processo de cozimento, a polpa celulósica foi analisada para determinar o grau de deslignificação, utilizando o método do fator Kappa (Figura 13). Para isso, a polpa foi tratada com uma solução ácida de permanganato de potássio, ácido sulfúrico, iodeto de potássio e outros reagentes (TAPPI T-236, 2000). O fator Kappa foi determinado pelo volume de permanganato de potássio necessário para reagir com a lignina da polpa, e o valor obtido foi de 18,7 mL de KMnO_4 por grama de celulose seca, indicando a quantidade de lignina removida durante o processo de polpação. O



experimento permitiu avaliar a eficácia da antraquinona como aditivo para melhorar o rendimento e o grau de deslignificação na polpação química.

Figura 13 – Determinação do número Kappa



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados obtidos indicam que o processo de cozimento foi eficaz, com um álcali titulável total (ATT) de 180 g/L, garantindo a presença suficiente de álcalis no licor. O álcali efetivo (AE) de 124 g/L, correspondente a cerca de 69% do ATT, demonstra que a fração de álcalis realmente disponível para a reação com a lignina é adequada, enquanto o álcali ativo (AA) de 129,6 g/L, ligeiramente superior ao AE, confirma que a porção de álcalis contribuindo efetivamente para o cozimento está dentro do esperado.

O número Kappa de 18,7 mL de KMnO_4 /g de celulose seca indica que a polpa retém uma quantidade moderada de lignina residual, demonstrando que o equilíbrio entre remoção de lignina e preservação da celulose foi atingido de forma satisfatória. Esses valores sugerem que o cozimento foi eficiente, permitindo uma boa produtividade de polpa com propriedades químicas adequadas para etapas subsequentes de branqueamento ou aplicação final.

Destaca-se ainda que a antraquinona age como catalisador, acelerando a reação de deslignificação e preservando a estrutura dos carboidratos, enquanto o surfactante altera a tensão superficial dos líquidos, melhorando a impregnação dos cavacos e a seletividade da antraquinona. Isso resulta em uma redução do número Kappa, diminuição dos rejeitos, redução da quantidade de antraquinona necessária, aumento da viscosidade da polpa e maior rendimento do processo.



As questões energéticas envolvidas no processo *Kraft* e de devido reaproveitamento dos resíduos como o licor negro para a obtenção da lignina e o licor de cozimento serão abordados em artigos futuros

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ressalta-se que é de suma importância o entendimento das características da madeira e como elas interferem no processo de fabricação de celulose.

Em relação a pesquisa e os dados literários sobre os aditivos empregados na polpação Kraft conclui-se que a antraquinona, como aditivo na polpação, reduz o valor de kappa mais eficazmente do que os surfactantes. No entanto, os surfactantes surgem como uma opção, pois além de promoverem boa deslignificação, ajudam na remoção de extrativos e facilitam a penetração do licor de cozimento nos cavacos. Contudo, para atingir o mesmo valor de Kappa, é necessário usar uma maior quantidade de surfactante em comparação à antraquinona

Para o procedimento experimental destaca-se que os resultados das análises químicas e físico-químicas do licor de cozimento e da polpa celulósica indicam que o processo de polpação Kraft estudado foi eficiente. Os valores de álcali titulável total (ATT = 180 g/L), álcali efetivo (AE = 124 g/L) e álcali ativo (AA = 129,6 g/L) demonstram que a quantidade de álcalis disponível foi adequada para a remoção da lignina, garantindo um equilíbrio entre eficiência de cozimento e preservação da celulose.

O número Kappa de 18,7 mL de KMnO_4 / g de celulose seca evidência que a polpa apresenta lignina residual moderada, caracterizando uma polpa parcialmente branqueada, adequada para etapas subsequentes de processamento ou aplicação industrial. Assim, os dados obtidos confirmam que o controle das variáveis químicas do licor é fundamental para otimizar a produtividade e a qualidade da polpa celulósica.

REFERÊNCIAS

ALBERTI, T.A. **Redução na variação de pH em torres de estocagem de polpa.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química. FATEB, Telêmaco Borba, PR, 2014



CAMPOS, E.S. **Curso básico de fabricação de celulose e papel**. Suzano, SP, 2011. Disponível em: <
https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_Fabricacao_Celulose_Papel.pdf>
Acesso em 14 set 2025

CARASCHI, J.C.; *et al.* **O efeito da antraquinona no processo de polpação soda e Kraft de Eucalyptus Gradis**. 2007. Disponível em: <
https://www.eucalyptus.com.br/icep03/02_Caraschi_Rosa_Santiago_Ventorim.pdf>. Acesso em 13 ago 2025

CARDOSO, G, DA SILVA. **Fabricação de Celulose**, Curitiba, 2006.

CARVALHO, D. L. **Estudo da melhor granulometria do cavaco para produção de celulose**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química. FATEB, Telêmaco Borba, PR, 2014

CUNICO, N.R.; *et al.* Fibras vegetais para a produção e polpa celulósica. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.11, p. 101930/101941 nov. 2021

FEITOSA, J.R.S. **Recuperação de Tall Oil: Um subproduto do processo Kraft**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química. UNIFATEB, Telêmaco Borba, PR, 2024

GARCÍA, M. G. A. *et al.* **Lignin chemistry and topochemistry during Kraft delignification of Eucalyptus globulus genotypes with contrasting pulpwood characteristics**. **Holzforschung**, v. 68, n. 6, p. 707–716, 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Relatório anual 2023. Brasília, 2023. Disponível em < <https://iba.org/wp-content/uploads/2025/05/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>> Acessado em: 14 set 2025

JESUS, A.F.S; *et al.* Aspectos gerais sobre a indústria brasileira de polpa celulósica e papel. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.6, p. 45984-45999, jun., 2022

JORGE, I. F. **Estudo sobre a extração de lignina do licor negro, seu impacto no processo de recuperação e geração de energia e seu potencial uso em novas aplicações**. 2018. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Energias Renováveis) Universidade

Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. JÚNIOR, F.P.A ; ROCHA, B.J.A.; NERY, T.B.R. **Processo de extração e caracterização térmica da lignina Kraft**. IV Workshop de Pesquisa e Tecnologia e Inovação PTI. 2014 Disponível em: <<http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/bitstream/fieb/615/1/Processo%20de%20extra%C3%A7%C3%A3o%20...%20GETEC.pdf>> Acessado em 24 set 2025

KLOCK, U; ANDRADE, A. **Química da madeira**. 4° Edição Revisada, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.



LIMA.E.A.; **Obtenção e caracterização de lignina Kraft utilizando resíduos industriais.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. UTFPR, Apucarana, PR. 2023

MARTINELLI, S.H.S. **Detecção de defeitos em caldeiras de recuperação química.** Tese de doutorado em Engenharia Química pela UEM, Maringá, PR. 2008

MARTINS, S.M. **Uso de antraquinona na deslignificação Kraft como forma de minimizar o impacto ambiental causado pelos compostos de enxofre.** Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2011

MOCELIN. E.Z. **Antraquinona e surfactante para otimização do processo Kraft com Pinus Spp.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005

OLIVEIRA, M. A.; *et al.*. **COZIMENTO DE FIBRA ALTERNATIVA DO BAGAÇO DE CANA E FIBRA DE BAMBU.** In: Anais do EPIC 2024 - XI Encontro de Pesquisa, XV Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Ensino e Extensão da UNIFATEB. Anais...Telêmaco Borba(PR) Centro Universitário UNIFATEB, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/epic-2024/965367-COZIMENTO-DE-FIBRA-ALTERNATIVA-DO-BAGACO-DE-CANA-E-FIBRA-DE-BAMBU>. Acesso em: 14/09/2025

PRIMITZ, F.N.; SYDNEY,A.C.N. **Lignina Kraft: Uma revisão de sua obtenção e possíveis métodos de análise como um ingrediente cosmético.** Artigo apresentado no X Seminário de Extensão e Inovação, XXV Seminário de Iniciação Científica e Tecnologia, 2020.

SANTOS, M. T. dos. **Análise energética dos sistemas térmicos em um processo de produção de Celulose e Papel.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2007.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2010.

SALIBÁ.E.O.S.; *et al.* **Ligninas – Métodos de obtenção e caracterização química.** Revista Ciência Rural, Santa Maria, v.31, n.5, p.917-928, 2001

SILVA, D.J. ; GOMIDE, J.L. e ALMEIDA, J.M. **Uso de surfactantes como auxiliar na remoção de extrativos hidrofóbicos de madeira Eucalyptus na etapa de polpação Kraft.** Trabalho apresentado no 35º Congresso Anual da ABTCP – 14 a 17 de outubro de 2002.

SIXTA, H. **Handbook of pulp.** Wiley-VCH, 2006



SOUZA, D.T.; CARVALHO, L.A.; VALADARES, L.F. **Celulose Pontos de Vista.** Brasília, DF: EMBRAPA, Agroenergia, 2015.

SOUZA, G.E.S.; MELO, F.A. **Determinação da composição química de licores do processo Kraft empregando espectroscopia do infravermelho próximo e regressão multivariada.** O PAPEL vol. 78, num. 9, pp. 85 - 91 SEP 2017

SOUZA, M.A.C. **Estudo de perovisquita baseada em titânio para aplicação em fotocatalise heterogênea.** Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2019

SOUZA, M.A.C. **Substituição da antraquinona por surfactante na polpação.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química. FATEB, Telêmaco Borba, PR, 2014

TAPPI T236 (2000). **Test Methods, Official Test Method T236 om-99, Kappa number in pulp,** Atlanta, EUA

TIMMER, Thomas. **Produção de ácido sulfúrico a partir de gases odoríferos: indústria de papel e celulose.** Química e Derivados, São Paulo, v. 60, n. 2, 2020.

VAKKILAINEN, E. K. **Kraft Recovery Boilers. Principle and Practices.** 2004

VIVIAN, M.A. **Aumento da eficiência do processo kraft de polpação a partir de pré-tratamento de cavacos de madeira de eucalipto.** Tese de Doutorado em Ciências pela USP, Piracicaba, SP, 2015.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES (marcar com x a contribuição de cada autor)

Nome completo

Item de colaboração	Igual aos demais	Menor que os demais	Maior que os demais	Não participou deste item
Contextualização do trabalho	X			
Organização dos dados	X			
Análise formal dos dados	X			
Análise formal do texto	X			
Financiamento para desenvolvimento do trabalho	NA			
Investigação e estudo	X			
Metodologia	X			
Administração de cronograma	X			
Administração de recursos	X			
Gestão do projeto	X			
Validação do projeto	X			

EPIC 2025



XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA

Marketing	NA			
Escrita do trabalho	X			
Participação em reuniões	X			
Revisão do trabalho	X			
Participação na construção do protótipo	NA			