



LICOR NEGRO DO PROCESSO KRAFT: INFLUÊNCIA DOS CONSTITUINTES DA MADEIRA NA SUA COMPOSIÇÃO

AN OVERVIEW OF RENEWABLE ENERGIES AND THEIR IMPORTANCE FOR ENERGY SUSTAINABILITY

DOI: 10.5281/zenodo.18166363



Hildemar Rikelmy Araújo dos Santos¹

Aldeni Barbosa da Silva²

Janaina Moreira de Brito³

Orivaldo da Silva Lacerda Júnior⁴

Resumo

O licor negro é um subproduto fundamental do processo Kraft de polpação, resultante da solubilização dos constituintes da madeira durante o cozimento alcalino. Sua composição química complexa é diretamente influenciada pela natureza e proporção dos principais componentes da madeira — lignina, hemiceluloses, celulose e extrativos — bem como pelas condições operacionais do processo. Este artigo teve como objetivo aprofundar a análise dos constituintes da madeira e sua relação com a formação e composição do licor negro, abordando os fatores que influenciam sua qualidade e possíveis aplicações. A lignina dissolvida representa a principal fração orgânica do licor negro, sendo responsável pelo elevado poder calorífico e pela formação de compostos aromáticos. As hemiceluloses contribuem majoritariamente para a fração de carboidratos degradados, originando ácidos orgânicos de baixo peso molecular, enquanto a celulose apresenta menor participação devido à sua maior resistência

1Técnico em Sistemas de Energia Renovável. IFPB – Campus Esperança. E-mail: hildemar.rikelmy@academico.ifpb.edu.br

2Doutor em Agronomia (Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II). Professor de Biologia do IFPB - Campus Esperança. E-mail: aldeni.silva@ifpb.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9454-7450>

3Graduada em Biologia (Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II). E-mail: janaina.brito1@outlook.com

4Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus. E-mail: lacerdajuniorlll@gmail.com

Revista *OWL Journal*, Campina Grande – PB, v.4.n.1 jan/fev/mar. 2026 – ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

1/31





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

ao ataque alcalino. Os extrativos, embora presentes em menores quantidades, influenciam significativamente a formação de sabões, depósitos e emissões, impactando a operação industrial. A composição do licor negro afeta diretamente sua viscosidade, teor de sólidos, comportamento reológico e desempenho na recuperação química e energética, especialmente na caldeira de recuperação. Dessa forma, compreender a relação entre os constituintes da madeira e a composição do licor negro é essencial para otimizar o processo Kraft, melhorar a eficiência energética, reduzir impactos ambientais e viabilizar o aproveitamento do licor negro como fonte de produtos de maior valor agregado em biorrefinarias. O estudo contribui para o aprofundamento do conhecimento sobre a química do licor negro e seu papel estratégico na indústria de celulose e papel.

Palavras-chave: licor negro; processo Kraft; constituintes da madeira; recuperação química.

Abstract

Black liquor is a fundamental byproduct of the Kraft pulping process, resulting from the solubilization of wood constituents during alkaline cooking. Its complex chemical composition is directly influenced by the nature and proportion of the main wood components—lignin, hemicelluloses, cellulose, and extractives—as well as by the operational conditions of the process. This article aimed to deepen the analysis of wood constituents and their relationship with the formation and composition of black liquor, addressing the factors that influence its quality and potential applications. Dissolved lignin represents the main organic fraction of black liquor and is responsible for its high calorific value and the formation of aromatic compounds. Hemicelluloses mainly contribute to the fraction of degraded carbohydrates, generating low-molecular-weight organic acids, while cellulose shows a lower contribution due to its greater resistance to alkaline attack. Extractives, although present in smaller amounts, significantly influence the formation of soaps, deposits, and emissions, thereby impacting industrial operation. The composition of black liquor directly affects its viscosity, solids content, rheological behavior, and performance in chemical and energy recovery, especially in the recovery boiler. Therefore, understanding the relationship between wood constituents and black liquor composition is essential to optimize the Kraft process, improve energy efficiency, reduce environmental impacts, and enable the utilization of black liquor as a source of higher value-added products in biorefineries. This study contributes to advancing knowledge of black liquor chemistry and its strategic role in the pulp and paper industry.

Keywords: black liquor; Kraft process; wood constituents; chemical recovery.

1. INTRODUÇÃO

O licor negro é um subproduto importante do processo kraft de polpação, utilizado principalmente na fabricação de celulose. Sua composição química varia conforme a madeira utilizada e os parâmetros do processo de polpação, sendo influenciada pela quantidade e





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

qualidade dos constituintes presentes na madeira, como celulose, lignina, hemicelulose, extrativos e compostos inorgânicos. A compreensão desses componentes é essencial para otimizar a recuperação de substâncias no processo e melhorar a eficiência ambiental e econômica da indústria de celulose (SILVA et al., 2018).

A madeira é composta por diversos tipos de polímeros naturais, sendo a celulose, lignina e hemicelulose os principais constituintes. A celulose é o componente estrutural fundamental, enquanto a lignina desempenha um papel crucial na resistência e rigidez das fibras. A hemicelulose, por sua vez, é um polímero que se encontra associado à celulose e lignina, afetando a solubilidade e a interação entre esses constituintes no processo kraft. A decomposição desses polímeros durante o processo de polpação resulta na formação do licor negro, que contém substâncias orgânicas e inorgânicas com potencial de reutilização em processos industriais (PEREIRA; COSTA, 2020).

A composição do licor negro é também impactada pelos extrativos presentes na madeira, como os terpenos, ácidos graxos e fenóis, que são liberados durante a digestão química no processo kraft. Esses extrativos podem afetar não só a eficiência do processo, mas também a qualidade do licor negro, influenciando a produção de energia e os custos associados à recuperação de produtos químicos. A presença de compostos inorgânicos, como sais de sódio, também influencia diretamente a composição do licor negro e sua posterior regeneração (FERREIRA; ALMEIDA, 2019).

Além disso, a composição do licor negro pode variar significativamente conforme o tipo de madeira utilizada, o que influencia diretamente nas propriedades e no comportamento do licor durante o processo de polpação. Diferentes espécies de madeira, como coníferas e folhosas, apresentam variações nos teores de lignina e hemicelulose, impactando a produção e a qualidade do licor negro gerado. A interação complexa entre esses constituintes e os reagentes utilizados no processo kraft pode resultar em licor negro com diferentes características físico-químicas, o que, por sua vez, influencia a eficiência da recuperação do licor e a regeneração de álcalis para novos ciclos de polpação (OLIVEIRA et al., 2021).





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

O processo de polpação kraft é altamente dependente da recuperação eficiente do licor negro, não apenas em termos econômicos, mas também ambientais. O licor negro contém uma quantidade significativa de carbono e energia, que podem ser aproveitados em sistemas de recuperação de energia, como caldeiras. Além disso, os compostos químicos presentes no licor negro, quando bem gerenciados, podem ser reciclados para a produção de produtos químicos valiosos, como sulfuros e álcalis. Dessa forma, a otimização da composição do licor negro e do processo de regeneração torna-se um objetivo estratégico para reduzir os custos operacionais e minimizar o impacto ambiental da indústria de celulose (SANTOS et al., 2017).

Em termos ambientais, a redução das emissões de gases poluentes durante o processo kraft é uma questão importante. O licor negro, ao ser utilizado para gerar energia e recuperar produtos químicos, contribui para um processo mais sustentável. No entanto, a variabilidade na composição da madeira e a complexidade do licor negro exigem uma abordagem detalhada para controlar esses aspectos de forma eficiente. Com o aumento da pressão por práticas industriais mais verdes, a melhoria no entendimento da composição do licor negro e suas implicações no processo kraft torna-se uma prioridade para os pesquisadores e profissionais da indústria (MARTINS et al., 2016).

Diante disso, este trabalho teve o objetivo de aprofundar a análise dos constituintes da madeira e sua relação com a formação e composição do licor negro, abordando os fatores que influenciam sua qualidade e possíveis aplicações.

2. METODOLOGIA

Esse trabalho teve como método de pesquisa o de natureza exploratória, valendo-se de uma revisão de literatura ou revisão bibliográfica, com o propósito de construir uma contextualização para a temática abordada e a análise das possibilidades presentes na literatura consultada para a concepção do referencial teórico da pesquisa (VOSGERAU; ROMANOWSKI, 2014).





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento fundamental. Os estudos denominados qualitativos têm como preocupação fundamental o estudo e a análise do mundo empírico em seu ambiente natural. Nessa abordagem valoriza-se o contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação que está sendo estudada (GODOY, 1995).

Em relação ao tipo de pesquisa desta revisão de literatura, o trabalho enquadra-se como uma pesquisa explicativa, visto que, essa modalidade tem como objetivo central identificar os fatores que determinam ou contribuem para fenômenos ocorrentes na sociedade (GIL, 2002). De acordo com o mesmo autor, acerca dos procedimentos técnicos da elaboração da revisão de literatura, esse trabalho se classifica puramente como uma pesquisa bibliográfica, vez que, a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado.

Para a obtenção dos dados, foi realizada uma busca criteriosa em materiais acadêmicos e científicos, incluindo livros, artigos, plataformas como Scopus e Scielo, além de monografias, dissertações e teses. Após essa busca, os conteúdos mais pertinentes ao tema foram selecionados e arquivados para uma leitura detalhada e compreensão aprofundada. A formatação das citações e referências seguiu os padrões estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A MADEIRA

No campo energético, a madeira é tradicionalmente conhecida como lenha e sempre teve um papel fundamental na trajetória da humanidade. Desde os tempos mais antigos, ela foi a primeira fonte de energia usada pelo ser humano, inicialmente para aquecer ambientes e cozinhar alimentos. Com o passar do tempo, seu uso foi se diversificando: além da lenha, a





madeira começou a ser convertida em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, servindo para gerar energia térmica, mecânica e elétrica em diferentes processos (BRITO, 2007).

Essa matéria-prima, de enorme importância ambiental, econômica e social, é utilizada pela humanidade há milhares de anos para garantir sua sobrevivência. Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), o consumo global de madeira gira em torno de 4 bilhões de metros cúbicos por ano. Esse volume é destinado a várias finalidades, desde a geração de energia (como lenha e carvão vegetal), até usos na construção civil, fabricação de móveis, produção de papel e celulose, entre outros (FAO, 2024).

Quimicamente, a madeira é um material lignocelulósico, ou seja, é composta principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. Esses três componentes têm grande importância na indústria, especialmente no setor de papel e celulose. A lignina, em particular, tem um papel central na geração de energia, pois é a principal fonte de calor na queima do licor negro, um subproduto do cozimento químico da madeira durante o processo de fabricação de celulose (CASTRO, 2009).

Na prática industrial, diferentes espécies de madeira são utilizadas, divididas em dois grandes grupos: Folhosas (como o eucalipto) e coníferas (como o pinus). As Folhosas, que possuem fibras mais curtas, são bastante utilizadas no Brasil, principalmente por causa de seu crescimento rápido e pela maior densidade energética que apresentam. Isso as torna vantajosas tanto do ponto de vista econômico quanto energético (FOELKEL, 2007).

As propriedades físico-químicas da madeira têm influência direta no rendimento dos processos industriais. Características como teor de lignina, densidade e umidade fazem diferença no aproveitamento energético e na eficiência da produção. Por exemplo, madeiras com alto teor de lignina tendem a gerar mais licor negro, que, ao ser queimado, libera mais energia térmica. Por isso, a escolha da espécie correta pode impactar significativamente o desempenho energético da planta industrial (SOUTO et al., 2015).

3.1.1. CELULOSE





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

A celulose é um tipo de polissacarídeo formado por cadeias de moléculas de glicose e está presente nas paredes celulares das plantas (Figura 1). É o componente estrutural mais comum do reino vegetal, podendo ser encontrado em quase todas as espécies de plantas, desde grandes árvores como o eucalipto, o pinus e o bambu até vegetações menores, como as gramíneas. Além disso, resíduos vegetais como o bagaço de cana-de-açúcar também são fontes viáveis de celulose, o que amplia ainda mais seu potencial de aproveitamento em diferentes indústrias (PUGLIESI, 2024).

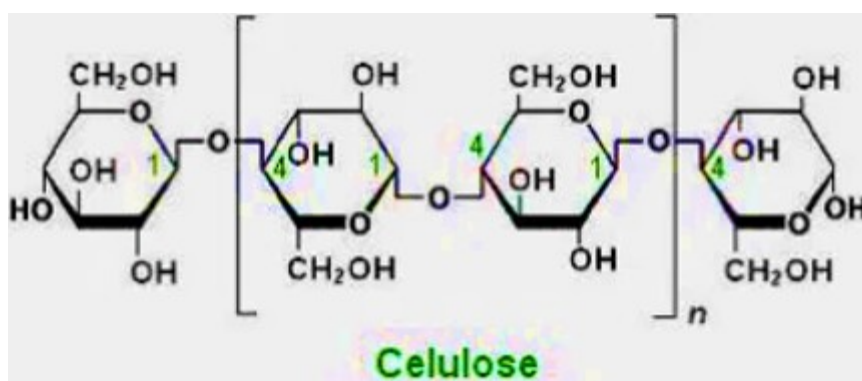


Figura 1. Estrutura Química da celulose. Fonte: MAGALHÃES (2025).

Quimicamente, a celulose é composta por unidades de glicose (monômeros) que variam de 15 a 15.000, unidas por ligações glicosídicas. Ela é um polímero de estrutura linear, e suas moléculas formam ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila, o que confere à celulose alta resistência e estabilidade. Nas células vegetais, essas moléculas se agrupam em feixes organizados, formando as fibras que conhecemos. Essa organização é o que garante a rigidez e a função estrutural da madeira (MAGALHÃES, 2025).

No Brasil, toda a produção de celulose vem de florestas plantadas e certificadas, o que garante um processo sustentável e controlado. A técnica usada para separar a celulose da madeira é chamada de polpação. Ela consiste na quebra das ligações entre as fibras dentro da madeira, podendo ser realizada por métodos mecânicos, químicos ou híbridos. Após a polpação, a polpa pode passar por diversas etapas de processamento, dependendo do produto





final. Em muitos casos, há uma fase de branqueamento, especialmente quando a celulose será usada para fabricar papéis brancos (KLABIN, 2025).

Além de sua importância ambiental e industrial, a produção de celulose tem um peso significativo na economia do Brasil. O processo envolve desde o cultivo e corte da madeira até a fabricação da celulose e, posteriormente, do papel. Apesar de existirem diversas aplicações, como bioplásticos, bioenergia e tecidos, a produção de papel e fibras têxteis ainda são as mais comuns. De acordo com dados da Indústria Brasileira de Árvores (Ibá), o setor representa 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e 6,9% do PIB industrial, com uma receita bruta superior a US\$ 100 bilhões e uma contribuição expressiva para a balança comercial, com US\$ 10 bilhões em exportações (VERACEL, 2022).

3.1.2. LIGNINA

A lignina é considerada a segunda molécula mais abundante do planeta, ficando atrás apenas da celulose e da hemicelulose. Sua presença é essencial para o crescimento e estrutura das plantas, já que atua como uma espécie de “cimento” natural entre as fibras celulares, garantindo rigidez, resistência mecânica e proteção estrutural à madeira (PAULA, 2010; JORGE, 2018).

Além de sua função estrutural, a lignina também tem papel fundamental no transporte interno de água, nutrientes e metabólitos dentro do vegetal. Outro ponto importante é que ela ajuda a proteger as plantas contra ataques de microrganismos, pois dificulta a penetração desses agentes por sua estrutura compacta e impermeável (JORGE, 2018).

Quimicamente, a lignina é um polímero formado por unidades derivadas de compostos aromáticos conhecidos como fenilpropanóides. Essas unidades, chamadas de C6C3 (ou C9), são ligadas de maneira irregular, resultado de um processo chamado polimerização desidrogenativa, que tem como base o álcool coniferílico. A definição da lignina pode variar bastante dependendo da forma como ela é isolada e do tipo de biomassa utilizada, por isso, é





sempre importante contextualizar sua estrutura de acordo com o estudo em questão (Figura 2) (SALIBA et al., 2001).

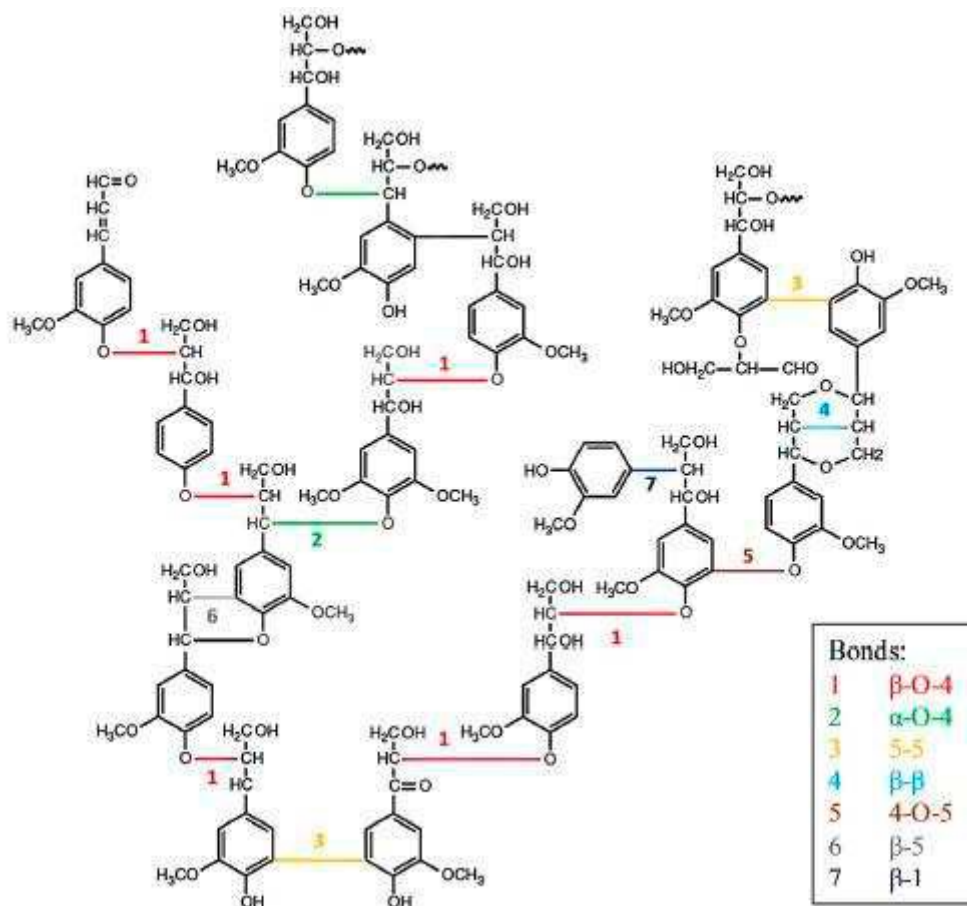


Figura 2. Representação da estrutura parcial da lignina e suas principais ligações entre as unidades básicas constituintes. Fonte: LAURICHESSE; AVÉROUS, 2013.

A extração da lignina a partir de biomassa lignocelulósica geralmente envolve processos que a decompõem gradualmente em moléculas menores, de baixo peso molecular. A forma como a lignina é isolada influencia diretamente suas propriedades físico-químicas, e





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

isso está ligado tanto ao tipo de biomassa quanto ao método aplicado na extração (FIGUEIREDO, 2018; JORGE, 2018).

Um dos métodos mais usados atualmente para extração da lignina é o processo Kraft, muito comum na indústria de celulose. Nesse processo, há uma tecnologia chamada Lignoboost, que permite retirar a lignina de forma mais pura e controlada (JORGE, 2018).

No Lignoboost, o licor negro, subproduto da polpação Kraft, é retirado da unidade de evaporação e tem seu pH reduzido com a adição de dióxido de carbono (CO₂), o que provoca a precipitação da lignina. Essa lignina é então desidratada usando um filtro prensa e, depois, dissolvida em uma solução com água e ácido. A mistura resultante passa por uma nova etapa de filtragem e lavagem com água acidificada, formando uma torta de lignina com alto grau de pureza. Esse processo não só contribui para o aproveitamento energético da lignina, como também para possíveis aplicações industriais futuras, como a fabricação de resinas, combustíveis e outros produtos de base renovável (JORGE, 2018).

3.1.3. HEMICELULOSE

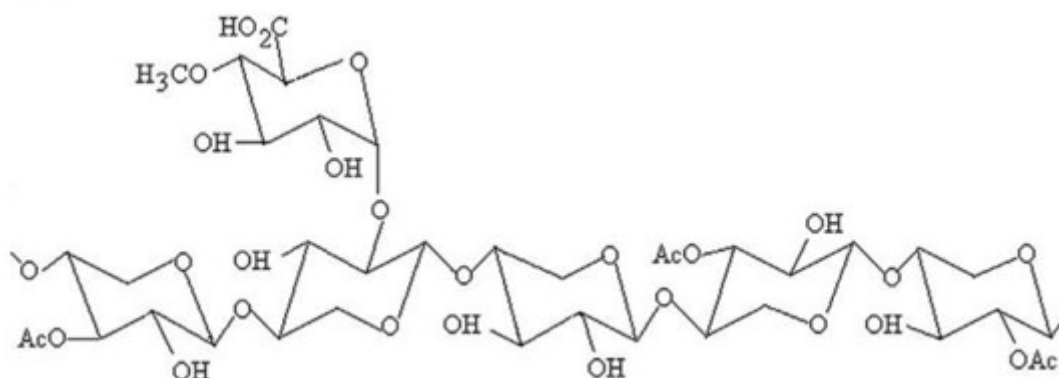
As hemiceluloses constituem-se de diferentes monossacarídeos unidos em uma cadeia curta e ramificada, que se ligam a lignina e a celulose (ESPÍRITO SANTO, 2015). As hemiceluloses representam até 35% da massa seca dos materiais lignocelulósicos, constituindo uma classe importante de carboidratos com composição e estrutura altamente variáveis, dependendo do tipo de planta (TRAJANO et al., 2013). São polímeros heterogêneos formados por uma mistura de monossacarídeos, como pentoses (β -D-xilose, α -L-arabinose), hexoses (β -D-manose, β -D-glicose, α -D-galactose) e ácidos urônicos (Figura 3) (WANG et al., 2021; ROBAK; BALCEREK, 2018; GÍRIO et al., 2010). Além disso, grupos hidroxila presentes nos açúcares podem ser parcialmente substituídos por grupos acetila, o que aumenta ainda mais a diversidade estrutural das hemiceluloses (ALVES, 2022; SHIMIZU, 2018).





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



Figur

a 3. Estrutura química da hemicelulose (THAKUR; THAKUR, 2014).

Ao contrário da celulose, as hemiceluloses possuem estrutura amorfa e cadeia ramificada, o que impede a formação de microfibrilas (COSGROVE, 2005). Isso as torna mais suscetíveis à hidrólise e mais fáceis de processar, especialmente em meio ácido, apresentando menor resistência à conversão química ou enzimática (HASANOV et al., 2020). Devido a essas características, as hemiceluloses são amplamente aproveitadas em processos de biorrefinaria, sendo convertidas em açúcares fermentáveis para a produção de biocombustíveis e outros bioprodutos (ALVES, 2022; SHIMIZU, 2018).

As hemiceluloses possuem grande potencial de aplicação industrial. Elas podem ser utilizadas na produção de enzimas, solventes por fermentação, ração animal, revestimentos, adesivos, medicamentos, aditivos plásticos, impressões têxteis e até mesmo nanopartículas (GUERRIERO et al., 2016). Assim, os resíduos agroindustriais lignocelulósicos se destacam como uma fonte estratégica para a obtenção de compostos de alto valor agregado, embora a variabilidade de sua composição química exija métodos específicos de processamento para cada tipo de biomassa (ALVES, 2022; SHIMIZU, 2018).

No contexto de biomassa lignocelulósica, as hemiceluloses juntamente com a lignina, após os processos químicos das indústrias, em sua grande maioria são queimadas para gerar energia. Atualmente, podemos encontrar alguns trabalhos sobre a utilização das





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

hemiceluloses, como a produção de ésteres carboxílicos à partir da palha de trigo e do bagaço de cana-de-açúcar (URAKI; KODA, 2015).

3.1.4. EXTRATIVOS

Durante o processo de polpação Kraft, além da celulose, são liberados diversos compostos químicos, entre eles os extrativos, que são substâncias orgânicas solúveis presentes naturalmente na madeira (JORGE, 2018).

O processo Kraft é o método mais amplamente utilizado para produção de celulose a partir de madeira. Durante a digestão da madeira com soluções alcalinas de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), ocorre a solubilização da lignina e parte das hemiceluloses e extrativos, formando o chamado licor negro. Este efluente contém cerca de 15 a 20% de sólidos, dos quais aproximadamente 35% são lignina, 15% carboidratos degradados, 3 a 5% extrativos e o restante compostos inorgânicos (D'ALMEIDA, 1988).

Embora os extrativos representem uma fração minoritária do licor negro, eles contêm uma variedade de compostos com propriedades antioxidantes, antimicrobianas e adsorventes, que podem ser aproveitados em diferentes aplicações industriais, contribuindo para uma abordagem mais sustentável e integrada da cadeia produtiva (TEIXEIRA, 2008).

Os extrativos englobam uma variedade de compostos como resinas, taninos, ceras, gorduras e fenóis, que podem influenciar significativamente as propriedades químicas e físicas do licor negro. Eles são metabólitos secundários das plantas e contribuem para as características específicas da madeira, além de interferirem no processo industrial, principalmente na recuperação química e energética do licor (PERISSOTTO et al., 2000).

Além do mais, a remoção dos extrativos é fundamental antes de análises químicas mais precisas da madeira, pois eles podem interferir significativamente na determinação de componentes como lignina e carboidratos (GOMES et al., 2000).

Teixeira (2008) identificou sete frações distintas dos compostos orgânicos do licor negro de *Eucalyptus globulus*, incluindo: lignina, compostos voláteis, extrativos solúveis em





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

éter (fenóis, ácidos aromáticos e compostos neutros), e extrativos solúveis em água (açúcares e ácidos carboxílicos). O rendimento total do fracionamento foi de aproximadamente 72% da matéria orgânica dissolvida.

A presença desses extrativos pode afetar a viscosidade, densidade e a concentração do licor negro, influenciando também a eficiência da queima no forno de recuperação e a qualidade da lignina extraída. Estudar esses compostos é fundamental para otimizar o processo produtivo e ampliar as possibilidades de aproveitamento energético do licor negro (MELO et al., 2011).

Além disso, o conhecimento detalhado dos extrativos permite a exploração de subprodutos de valor agregado, como compostos fenólicos para usos industriais ou farmacêuticos, contribuindo para a sustentabilidade e economia circular na indústria de papel e celulose (BARROS, 2021).

O fracionamento dos extrativos do licor negro geralmente envolve etapas de separação por solventes, precipitação ácida e extração líquido-líquido. Técnicas analíticas como espectroscopia no infravermelho (FTIR), cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e análise elementar são frequentemente empregadas para caracterização dos compostos. Teixeira (2008) utilizou FTIR-ATR para caracterizar lignina, GC-MS para identificar os compostos extraídos com éter e água, e HPLC para análise dos compostos voláteis. Essas ferramentas permitem identificar não apenas a composição química, mas também inferir propriedades funcionais relevantes para aplicações específicas.

Com relação as aplicações potenciais dos extrativos, eles podem atuar como adsorventes de íons metálicos e na produção de nanopartículas. Oliveira et al. (2017) demonstraram que a lignina extraída do licor negro, após carbonização, pode ser empregada como adsorvente de íons metálicos. Em seu estudo, obtiveram uma taxa de remoção de 76,89% de íons Zn^{2+} em apenas 15 minutos. Embora o foco principal tenha sido a lignina, os extrativos presentes também desempenham papel fundamental, contribuindo com grupos funcionais como hidroxilas e carboxilas, que favorecem a adsorção.





Recentemente, Marques (2022) utilizou compostos isolados do licor negro, incluindo extrativos fenólicos, na síntese de nanopartículas com atividade antibacteriana. As partículas formadas apresentaram diâmetros entre 80 e 489 nm, com conteúdo fenólico relevante e ação antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus*. A pesquisa reforça a viabilidade de se extrair valor agregado dos compostos presentes no licor negro para aplicação em biotecnologia e farmacêutica.

Apesar de sua menor representatividade em massa, os extrativos do licor negro constituem uma fração de alto valor químico, com potencial de aplicação em diversos setores. O desenvolvimento de tecnologias para separação e purificação eficiente, aliado a análises químicas detalhadas, é fundamental para a inserção desses compostos em cadeias produtivas sustentáveis. A valorização dos extrativos contribui para o aproveitamento integral da biomassa, reduzindo resíduos e agregando valor ao processo de produção de celulose. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento são essenciais para superar os desafios técnicos e econômicos associados à recuperação desses compostos em escala industrial.

3.1.5. COMPOSTOS INORGÂNICOS

A indústria de celulose é um dos pilares do setor florestal e industrial global. Entre os diversos processos empregados, o processo Kraft é o mais amplamente utilizado para a produção de celulose a partir da madeira. Durante o cozimento alcalino, a lignina é removida da madeira por meio da ação de uma solução conhecida como licor branco, composta principalmente por hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S). O licor resultante, denominado licor negro, contém os resíduos orgânicos solubilizados (principalmente lignina, hemiceluloses e ácidos orgânicos), além de uma variedade de compostos inorgânicos (SJÖSTRÖM, 1993; GULLICHSEN; FOGELHOLM, 2000).

Os compostos inorgânicos presentes no licor negro desempenham um papel fundamental na digestão da madeira e na recuperação química dos reagentes. Esses compostos são majoritariamente provenientes do licor branco e incluem, principalmente, sais de sódio e





enxofre. No ciclo de recuperação química, esses sais são reaproveitados após a queima da matéria orgânica no forno de recuperação, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência do processo. Apesar de não participarem da fração energética do licor negro, os compostos inorgânicos são indispensáveis para manter o equilíbrio químico do sistema. É importante ressaltar que a acumulação de certos inorgânicos, como o cloreto e o potássio, pode provocar corrosão nos equipamentos e precisa ser controlada (SOUZA, 2022).

Os compostos inorgânicos presentes no licor negro derivam principalmente do licor branco utilizado no cozimento da madeira, composto por hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), que atuam na quebra da lignina durante o processo Kraft. Durante as reações químicas ocorridas no cozimento, esses compostos se transformam em sais como o carbonato de sódio (Na₂CO₃), sulfato de sódio (Na₂SO₄) e tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃), os quais formam a fração inorgânica do licor negro. Além disso, minerais presentes naturalmente na madeira, como cálcio, potássio, ferro, alumínio, sílica e cloro, são incorporados ao licor durante o processo. A composição exata desses compostos varia conforme o tipo de biomassa utilizada e as condições operacionais da indústria, refletindo a complexidade e a dinâmica química do processo de polpação (Quadro 1) (CARDOSO et al., 2000; SOUZA, 2022).

Os compostos inorgânicos no licor negro influenciam fortemente suas propriedades físico-químicas, impactando desde o manuseio até a eficiência do processo industrial. Sais como Na₂CO₃ e Na₂SO₄, altamente solúveis, tendem a precipitar quando a concentração de sólidos atinge cerca de 45-60 %, gerando incrustações nos evaporadores (MELO et al., 2011; YUE et al., 2018).

Esses sais são também higroscópicos, absorvendo umidade do ar, o que pode alterar a concentração e a estabilidade do licor. A viscosidade do licor negro aumenta com o teor de sólidos — mesmo os inorgânicos contribuem para essa elevação — influenciando o bombeamento e atomização no forno de recuperação. A condutividade elétrica da solução também cresce com a maior presença de íons, sendo usada como parâmetro de monitoramento em processos industriais. Finalmente, após a queima do licor, a fração inorgânica é





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

responsável por um teor de cinzas significativo — entre 15 % e 30 % dos sólidos — o que representa a totalidade da carga inorgânica inicialmente presente (WEILAND et al., 2024).

Quadro 1. Principais Compostos Inorgânicos no Licor Negro.

Compostos inorgânicos	Fórmula Química	Origem	Função no processo
Sulfato de sódio	Na_2SO_4	Licor branco (reagente)	Atua como agente oxidante; na recuperação é reduzido a Na_2S (sulfeto de sódio) no forno de recuperação.
Sulfeto de sódio	Na_2S	Redução do Na_2SO_4	Principal agente ativo na digestão da lignina (reação com enxofre).
Carbonato de sódio	Na_2CO_3	Cinza do forno de recuperação	Reage com a cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para formar NaOH (soda cáustica).
Hidróxido de sódio	NaOH	Gerado por caustificação	Reagente básico no cozimento da madeira (ajuda a quebrar a lignina).
Tiosulfato de sódio	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Subproduto de oxidação de enxofre	Intermediário no ciclo do enxofre; pode ser reoxidado ou reduzido.
Cloreto de sódio	NaCl	Impurezas da madeira ou água	Inerte no processo, mas se acumular pode causar corrosão nos





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

			equipamentos.
Óxidos metálicos	CaO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ , Al ₂ O ₃	Cinzas ou matéria-prima da madeira	Presentes como impurezas ou restos minerais; parte da escória.
Silicato de sódio	Na ₂ SiO ₃	Reação do NaOH com sílica	Pode formar depósitos em tubulações e caldeiras.
Sulfeto de hidrogênio	H ₂ S	Subproduto de Na ₂ S	Gás tóxico com odor forte, gerado durante o cozimento.
Carbonato de cálcio	CaCO ₃	Resultado da caustificação	Produto da reação da cal com carbonato no ciclo de recuperação.

Fonte: STUMM, 2025; BATISTA, 2018; CARDOSO et al., 2000.

A composição inorgânica do licor negro é um componente vital no contexto da produção de celulose via processo Kraft. Ela afeta diretamente a recuperação química, a geração de energia, o desempenho dos equipamentos e a sustentabilidade do processo industrial. O controle e o estudo detalhado desses compostos permitem não apenas otimizar a operação das fábricas, mas também abrir caminho para soluções tecnológicas sustentáveis, com potencial de reaproveitamento ambiental.

3.2. PROCESSO KRAFT

O processo Kraft, também conhecido como processo sulfato, introduzido em 1884 com foco na obtenção de fibras mais resistentes, é responsável por cerca de 89–90 % da celulose produzida quimicamente no mundo (KIM et al., 2019). Este método envolve o





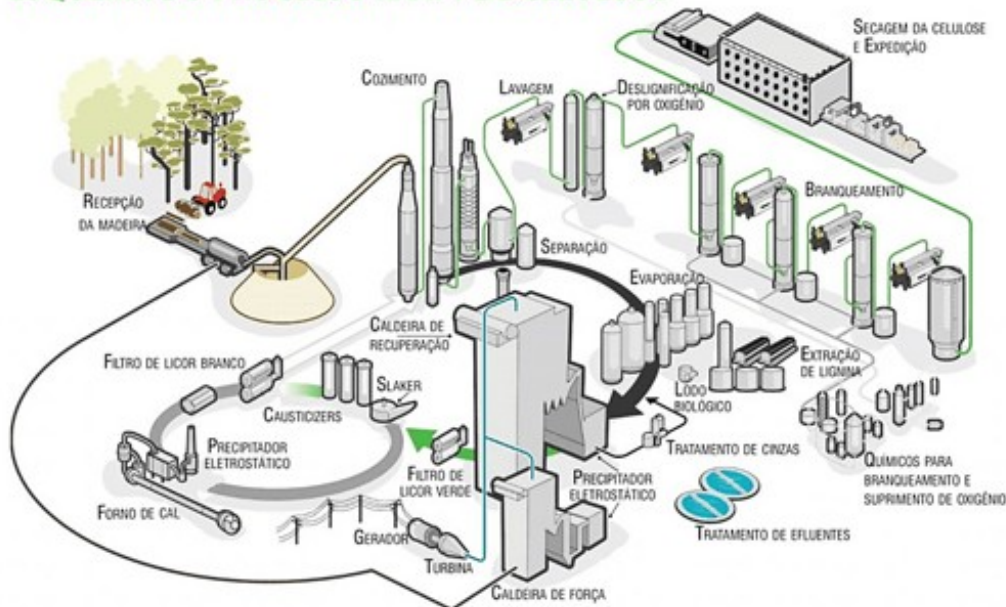
REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

cozimento dos cavacos de madeira em reatores digestores. Após o cozimento, este licor é concentrado e depois queimado na caldeira de recuperação, gerando vapor e, depois, energia. A lignina é a parte da madeira com maior poder calorífico (RUBIM, 2021).

O objetivo básico desse processo é separar as fibras celulósicas contidas na madeira, removendo a lignina e outros componentes (hemiceluloses e extrativos), para se obter uma polpa com alta pureza e qualidade adequada para a produção de papéis e outros produtos. Isso é realizado através da ação química de uma solução alcalina (licor branco), composta principalmente por hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), que promove a deslignificação da madeira em condições controladas de temperatura, pressão e tempo. Além de eficiente na remoção da lignina, permite a recuperação dos produtos químicos utilizados, o que o torna economicamente viável e ambientalmente mais sustentável. A recuperação é feita principalmente na etapa de recuperação química, onde o licor negro resultante do cozimento é concentrado e queimado em caldeiras de recuperação, gerando energia e regenerando os produtos químicos necessários ao processo (Figura 4) (FOELKEL, 2017).

ESQUEMA DO PROCESSO KRAFT DE CELULOSE



Revista *OWL Journal*, Campina Grande – PB, v.4.n.1 jan/fev/mar. 2026 – ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

18/31





Figura 4. Produção de Celulose e Sistema Kraft. Fonte: BRUMANO (2023).

Esse processo se inicia com o descascamento das toras de madeira, etapa essencial para evitar impurezas e garantir maior eficiência no cozimento. Após isso, a madeira é picada em cavacos uniformes, com tamanho ideal para facilitar a penetração dos reagentes químicos durante as etapas seguintes. Essa preparação influencia diretamente na qualidade da polpa e no rendimento do processo (SOUZA, 2024).

Logo em seguida na etapa impregnação, os cavacos são aquecidos com vapor e entram em contato com o licor branco, uma solução composta principalmente por hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S). Essa etapa é feita antes do cozimento principal e tem como objetivo iniciar a dissolução da lignina, tornando o processo mais homogêneo e eficiente, além de reduzir o tempo total de digestão. Após esse momento os cavacos impregnados são colocados em digestores contínuos ou por batelada, operando sob alta pressão (7–10 atm) e temperaturas entre 140 °C e 170 °C. Durante cerca de 2 horas, a lignina e parte da hemicelulose são dissolvidas no licor, liberando a celulose que compõe a polpa marrom (brown stock). O líquido escuro resultante, rico em lignina e resíduos orgânicos, é o chamado licor negro fraco (SOUZA, 2024; BARROS, 2021).

Posteriormente, o conteúdo do digestor é descarregado em um tanque de expansão (blow tank), onde a pressão atmosférica causa a separação das fibras de celulose. Em seguida, a polpa é lavada em filtros rotativos ou esteiras para remover o licor negro e impurezas sólidas como nós ou partículas não cozidas. Esse processo é crucial para evitar contaminações na etapa de branqueamento (CASTRO, 2009).

Então o licor negro separado da polpa contém cerca de 15–20% de sólidos. Ele é enviado para evaporadores de múltiplos efeitos, onde é concentrado até 65–80% de sólidos. Esse processo é necessário para que o licor possa ser queimado com eficiência nas caldeiras, promovendo recuperação energética e facilitando a regeneração química (TIAGO, 2022).

O licor negro concentrado é queimado em caldeiras especiais chamadas caldeiras de recuperação. Essa etapa tem duplo objetivo: recuperar os produtos químicos inorgânicos





(como Na_2S e Na_2CO_3) e gerar energia térmica e elétrica a partir da combustão dos sólidos orgânicos. Os resíduos dessa queima formam o chamado “smelt”, que é posteriormente dissolvido. Posteriormente, a dissolução do smelt em água forma o licor verde, que passa por um processo de caustificação com cal virgem (CaO), regenerando o licor branco original usado no cozimento. Isso fecha o ciclo químico do processo Kraft, tornando-o mais sustentável e reduzindo os custos operacionais com reagentes (SOUZA, 2024; CASTRO, 2009).

Após a etapa de depuração e lavagem da polpa marrom, inicia-se o branqueamento. O processo visa remover os 3–5 % de lignina residual que permanecem na polpa, além de modificar grupos cromóforos responsáveis pela coloração indesejada. O branqueamento ocorre em múltiplos estágios, intercalados com lavagens para eliminar substâncias solúveis da lignina. Utilizam-se agentes como oxigênio (pré-branqueamento alcalino), seguido por ozônio, peróxido de hidrogênio e dióxido de cloro — o agente ClO_2 é o mais comum em sistemas ECF (livres de cloro elementar). Tudo isso garante uma polpa branqueada de alta qualidade com menor impacto ambiental (SOUZA, 2024).

O processo Kraft do licor negro é um modelo exemplar de eficiência industrial e economia circular. Ele combina a recuperação química rigorosa com a geração de energia autossustentável, reduzindo resíduos e impacto ambiental. Tecnologias emergentes, como a extração de lignina e a valorização de compostos específicos, ampliam o potencial do licor negro para além da mera energia, elevando-o ao patamar de recurso estratégico nas biorrefinarias do futuro.

3.3. LICOR NEGRO

O licor negro é um subproduto fundamental do processo de polpação química da madeira, especialmente no processo Kraft, amplamente utilizado na indústria de celulose. Ele é gerado após a etapa de cozimento dos cavacos, quando ocorre a dissolução da lignina e de parte das hemiceluloses presentes na biomassa lignocelulósica. Esse licor contém uma mistura





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

complexa de compostos orgânicos dissolvidos — principalmente lignina, ácidos orgânicos e extrativos — e compostos inorgânicos provenientes dos reagentes químicos utilizados no processo, como hidróxido de sódio e sulfeto de sódio. A correta gestão do licor negro é essencial tanto para a eficiência econômica do processo industrial quanto para a sustentabilidade ambiental do setor de celulose e papel (SMOOK, 2016).

Do ponto de vista químico, o licor negro apresenta elevada carga orgânica e alto poder calorífico, características que o tornam um insumo estratégico dentro da fábrica de celulose. A fração orgânica é composta majoritariamente por lignina dissolvida, que representa cerca de 30 a 40% do conteúdo energético do licor, além de carboidratos degradados e extrativos da madeira. Já a fração inorgânica é formada pelos sais de sódio e enxofre, os quais precisam ser recuperados para viabilizar economicamente o processo Kraft. Essa composição complexa exige um controle rigoroso das variáveis operacionais, pois alterações no teor de sólidos e na viscosidade do licor podem comprometer etapas subsequentes, como evaporação e combustão (BIERMANN, 1996).

A recuperação química do licor negro ocorre, principalmente, na caldeira de recuperação, considerada o coração energético da planta de celulose. Nessa unidade, o licor concentrado é queimado, promovendo simultaneamente a geração de vapor e eletricidade e a regeneração dos produtos químicos utilizados no cozimento. Durante a combustão, a fração orgânica é convertida em energia térmica, enquanto os compostos inorgânicos formam um fundido rico em carbonato e sulfeto de sódio, que será posteriormente reprocessado no ciclo de recuperação química. Esse sistema integrado é responsável por tornar as fábricas de celulose amplamente autossuficientes em energia (GULLICHSEN; FOGELHOLM, 2000).

Além de sua importância energética, o licor negro desempenha um papel central na sustentabilidade ambiental do processo industrial. A recuperação e reutilização dos produtos químicos reduzem significativamente a necessidade de insumos externos e minimizam a geração de efluentes líquidos. Historicamente, o descarte inadequado do licor negro representava um grave problema ambiental, devido à sua elevada demanda química de oxigênio. No entanto, o desenvolvimento tecnológico das caldeiras de recuperação e dos





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

sistemas de evaporação permitiu transformar um resíduo altamente poluente em uma fonte estratégica de energia renovável, alinhada aos princípios da economia circular (SMOOK, 2016).

Nos últimos anos, novas tecnologias vêm sendo estudadas para ampliar o aproveitamento energético do licor negro, como a gaseificação em substituição ou complemento à combustão convencional. A gaseificação permite a conversão do licor em gás de síntese, que pode ser utilizado para geração de energia elétrica com maior eficiência ou para a produção de biocombustíveis e produtos químicos de maior valor agregado. Apesar do elevado potencial tecnológico, esses sistemas ainda enfrentam desafios relacionados à corrosão, ao controle operacional e aos custos de implantação em escala industrial (TRAN; VAKKILAINEN, 2008).

Dessa forma, o licor negro deixa de ser apenas um subproduto do processo Kraft e passa a ser um elemento estratégico para a competitividade da indústria de celulose. Sua correta valorização energética e química contribui para a redução de custos operacionais, para a diminuição dos impactos ambientais e para o fortalecimento do setor como produtor de energia renovável. Assim, o estudo contínuo de suas propriedades, rotas de aproveitamento e impactos operacionais permanece como um tema relevante para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico na área de engenharia química e florestal (BIERMANN, 1996; GULLICHSEN; FOGELHOLM, 2000).

CONCLUSÃO

Conclui-se que o licor negro gerado no processo Kraft apresenta composição diretamente influenciada pelos constituintes químicos da madeira, especialmente lignina, hemiceluloses e extrativos. As variações naturais entre espécies florestais, bem como diferenças relacionadas à idade, condições de crescimento e parte da árvore utilizada, refletem-se de forma significativa nas características químicas e energéticas do licor negro





produzido. Dessa forma, a compreensão da relação entre a matéria-prima lignocelulósica e a composição do licor negro é essencial para o controle e a otimização do processo de polpação.

Observou-se que o teor e a estrutura da lignina exercem papel predominante na carga orgânica e no poder calorífico do licor negro, influenciando diretamente sua eficiência energética na caldeira de recuperação. Da mesma forma, as hemiceluloses contribuem para a formação de ácidos orgânicos e sólidos dissolvidos, afetando propriedades físico-químicas importantes, como viscosidade e teor de sólidos. Já os extrativos, embora presentes em menores quantidades, podem impactar significativamente aspectos operacionais, como formação de incrustações, corrosão e emissão de compostos indesejáveis durante a combustão.

A análise da influência dos constituintes da madeira na composição do licor negro evidencia a importância da seleção adequada da matéria-prima e do ajuste das condições operacionais do cozimento Kraft. Estratégias que considerem essas variáveis permitem melhorar a eficiência da recuperação química e energética, reduzir problemas operacionais e ampliar o aproveitamento do licor negro como fonte de energia renovável e insumo para processos de maior valor agregado.

Por fim, os resultados discutidos reforçam a relevância do licor negro não apenas como um subproduto do processo Kraft, mas como um elemento estratégico para a sustentabilidade econômica e ambiental da indústria de celulose. O aprofundamento dos estudos sobre a interação entre composição da madeira e características do licor negro pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, alinhadas aos princípios da economia circular e à crescente demanda por processos industriais mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. G. T. **Investigação de hemicelulose catiônica – sintetizada a partir do resíduo agroindustrial casca de amendoim – como coagulante natural no tratamento de efluente industrial de laticínio**. 2023. 99 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.





BARROS, T. D. **Licor negro**. 2021. EMBRAPA. AGROENERGIA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/licor-negro>. Acesso em: 15 abr. 2025.

BATISTA, T. S. **A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NO BRASIL: PRODUTIVIDADE, COMPETITIVIDADE, MEIO AMBIENTE E MERCADO CONSUMIDOR**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia. 51 p., 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26863/1/IndustriaPapelCelulose.pdf>. Acesso em: 08/07/2025.

BIERMANN, C. J. **Handbook of pulping and papermaking**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1996.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 185–193, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/VJ7X8vqmj8LZWtZzzKx6wdj>.

BRUMANO, P. **Produção de Celulose e Sistema Kraft**. TermoBlog, 25 mar. 2023. Disponível em: <https://termoblog.com.br/producao-de-celulose-e-sistema-kraft/>. Acesso em: 08/06/2025.

CARDOSO, M.; GONÇALVES, C. R. S.; OLIVEIRA, E. D.; PASSOS, M. L. A. **Caracterização do licor negro de eucalipto de indústrias brasileiras**. Congresso Iberoamericano de Investigación en Celulosa Y Papel. 7 p., 2000. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2000_Licor_negro_eucaliptos.pdf. Acesso em: 08/07/2025.

CASTRO, H. F. **Processos Químicos Industriais II – Apostila 4: Papel e Celulose**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena – EEL, 30 p., 2009. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.

COSGROVE, D. J. (2005). Growth of the plant cell wall. **Nature reviews molecular cell biology**, v. 6, n. 11, p. 850-861, 2005.



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



D'ALMEIDA, J. R. M. **Caracterização química do licor negro de eucalipto proveniente do processo kraft.** 1Library.org, 1988. Disponível em:

<https://1library.org/article/processamento-licor-negro-processo-de-forma%C3%A7%C3%A3o-licor-negro.qorjopkq>. Acesso em: 17 ago. 2025.

ESPÍRITO SANTO, M. C. **Otimização de estratégias de pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração via hidrólise enzimática.**

2015. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

FAO. **O ESTADO DAS FLORESTAS DO MUNDO EM 2024** – A Produção Global de Madeira Está em Níveis Recordes, Cerca de 4 mil milhões de m³ por ano. Disponível em:

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/768ba59e-c692-47c3-9a13-3c3c10993396/content/src/html/wood-production-record-levels.html>. Acesso em: 15 abr. 2025.

FERREIRA, A. L.; ALMEIDA, R. P. Composição do licor negro no processo kraft: implicações para a recuperação de produtos químicos e energia. **Revista Brasileira de Papel e Celulose**, v. 42, n. 3, p. 75-82, 2019.

FIGUEIREDO, P.; LINTINEN, K.; HIRVONEN, J. T.; KOSTIAINEN, M. A.; SANTOS, H. A. Properties and chemical modifications of lignin: Towards lignin-based nanomaterials for biomedical applications. Editora Elsevier. **Progress in Materials Science**, v. 93, p. 233-269, 2018.

FOELKEL, C. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. Novembro 3011, Edição N° 37, 2007. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/newspt_nov11.html. Acesso em: 29 abr. 2025.

FOELKEL, C. **O processo Kraft de fabricação de celulose**. Capítulo 3, p. 37-53, 2017. In: EUCALYPTUS ONLINE BOOK & NEWSLETTER. Livro ABTCP – Processo Kraft. 2017. Disponível em:



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2017_Processo+Kraft+Book+ABTCP.pdf. Acesso em: 08/06/2025.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. EDITORA ATLAS S.A. 4ª ed. São Paulo. 2002.

GÍRIO, F. M.; FONSECA, C.; CARVALHEIRO, F.; DUARTE, L. C.; MARQUES, S.;

BOGEL-ŁUKASIK, R. Hemicelluloses for fuel ethanol: a review. **Bioresource technology**, v. 101, n. 13, p. 4775-4800, 2010.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

GOMES, R. M.; GOUVÊA, A. F. G.; LINO, A. G.; KRAVETZ, C.; BATISTA, A. C. G.; ALMEIDA, E. L.; BAPTISTA, R. O.; BIANCHE, J. J. **Avaliação dos constituintes químicos da madeira aplicando diferentes métodos de remoção de extrativos**. 2020, p. 195-204. In: OLIVEIRA, R. J. Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade. 898 p., 2020.

GUERRIERO, G.; HAUSMAN, J. F.; STRAUSS, J.; ERTAN, H.; SIDDIQUI, K. S. Lignocellulosic biomass: Biosynthesis, degradation, and industrial utilization. **Engineering in Life Sciences**, v. 16, n. 1, 1-16, 2016.

GULLICHSEN, J.; FOGELHOLM, C. J. **Chemical pulping**. Helsinki: Fapet Oy, 2000.

MARTINS, F. R. et al. Avanços na recuperação de energia e produtos químicos a partir do licor negro no processo kraft. **Química e Tecnologia**, v. 49, n. 2, p. 123-131, 2016.

HASANOV, I.; RAUD, M.; KIKAS, T. **O Papel dos Líquidos Iônicos na Separação da Lignina da Biomassa Lignocelulósica**. **Energies**, v. 13, 24 p., 2020.

JORGE, I. E. **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**.

Monografia de Especialização. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA. ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS. 60 p., 2018.



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



KIM, C.-H.; LEE, J.-Y.; PARK, S.-H.; MOON, S.-O. Global trends and prospects of black liquor as bioenergy. **Journal of Korea TAPPI**, Seoul, v. 51, n. 5, p. 3–15, out. 2019.

Disponível em: <https://www.ktappi.kr/articles/article/KQ5a/>. Acesso em: 22 out. 2025.

KLABIN. **Celulose**. Disponível em: <https://klabin.com.br/negocios-e-produtos/celulose>.

Acesso em: 29/04/2025.

LAURICHESSE, S.; AVÉROUS, L.; Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. **Progress in Polymer Science**, v. 39, p. 1266–1290, 2013.

MAGALHÃES, L. 2025. **Celulose**. Toda Matéria. Disponível em:

<https://www.todamateria.com.br/celulose/>. Acesso em: 25/05/2025.

MARQUES, J. Q. C. **Economia circular na valorização do licor negro: produção de nanopartículas de lignina e seu potencial antimicrobiano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Coimbra, 2022. Disponível em:

<https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/106254>. Acesso em: 17/08/2025.

MARTINS, M. P., et al. Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 173–180, 2016. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/rPNwWm89Bv6tFgPf5xwGsWD/?format=html&lang=pt>.

Acesso em: 24/12/25.

MELO, J. B.; MEDEIROS, J. F.; MARQUES, R. G.; ANDRADE, A. A. Estudo das características do licor negro. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 3, n. 1, 11 p., 2011. Disponível em:

<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/viewFile/11302/209209209314>. Acesso em: 17/08/2025.

OLIVEIRA, C. P. M.; PIMENTA, G. H. A.; SILVA, M. R.; RAMOS, M. M. M.; SIQUEIRA, M. C.; FONSECA, Y. A. Extração da lignina presente no licor negro para adsorção de íons de metais pesados. **Percursos Acadêmicos**, Belo Horizonte, v. 7, n. 14, p. 468–482, 2017.

Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/percursoacademico/article/view/14579>. Acesso em: 17/08/2025.

Revista *OWL Journal*, Campina Grande – PB, v.4.n.1 jan/fev/mar. 2026 – ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

27/31



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



OLIVEIRA, M. P. et al. A polpação kraft: efeitos da composição da madeira na eficiência do processo. **Journal of Pulp and Paper Science**, v. 36, n. 2, p. 154-165, 2021.

PAULA, S. C. S. **Precipitation of lignin from kraft black liquor**. Tese de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química). Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia (FEUP). 34 p., 2010.

PEREIRA, R. D.; COSTA, J. F. Interação entre celulose, lignina e hemicelulose no processo kraft: implicações para a composição do licor negro. **Indústria de Celulose**, v. 29, n. 4, p. 220-227, 2020.

PERISSOTTO, D. O.; NASCIMENTO, E. A.; MORAIS, S. A. L. Estudo dos extrativos da polpa Kraft de Eucalyptus – Parte 2: Branqueamento dos extrativos e da polpa Kraft. **O Papel**, p. 69-72, 2000. Disponível em:

https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2000_Extrativos%2BPolpa%2BParte02.pdf. Acesso em: 08/07/25.

PUGLIESI, N. **CELULOSE: O QUE É, PARA QUE SERVE E ONDE ESTÁ**. Suzano. Disponível em: <https://www.suzano.com.br/blog-posts/celulose-o-que-e-para-que-serve-e-onde-esta-no-seu-dia-a-dia>. 2024. Acesso em: 25/05/2025.

ROBAK, K.; BALCEREK, M. Revisão da produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual. **Tecnologia Alimentar Biotecnologia**, v. 56, n. 2, p. 174-187, 2018.

RUBIM, C. Licor negro é fonte de energia para a indústria de papel e celulose. **Revista TAE**, n. 63, outubro/novembro de 2021 - Ano 11. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/730/licor-negro-e-fonte-de-energia-para-a-industria-de-papel-e-celulose>. Acesso em: 08/06/2025.

SALIBA, E. O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L.; VELOSO, D. P. LIGNINAS – MÉTODOS DE OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.917-928, 2001.

SANTOS, L. A. et al. Sustentabilidade no processo kraft: recuperação de energia e produtos químicos. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 22, n. 1, p. 88-96, 2017.



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



SHIMIZU, F. L. **Remoção de lignina e hemicelulose: influência na acessibilidade à celulose e sacarificação enzimática.** 2018. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/65511741-be01-4359-bcc0-085ee78d1837/content>.

SILVA, L. G. et al. Licor negro e suas propriedades: um estudo sobre a composição e aplicação no processo kraft. **Revista de Ciências Florestais**, v. 51, n. 1, p. 101-110, 2018.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry: Fundamentals and Applications.** Academic Press. 293 p., 1993.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp and paper technologists.** 4. ed. Vancouver: Angus Wilde Publications, 2016.

SOUTO, F.; CALADO, V.; PEREIRA JÚNIOR, N. Fibras de carbono a partir de lignina: uma revisão da literatura. **Revista Matéria**, v.20, n.1, p. 100 – 114, 2015.

SOUZA, Y. S. **Processo de recuperação do licor negro: geração de energia.** Trabalho de Conclusão de Curso. Pitágoras. 30 p., 2022. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/53058/1/YANO_SANTANA_DE_SOUZA.pdf. Acesso em: 28/09/2025.

SOUZA, J. P. N. Revisão do processo de obtenção da celulose Kraft e suas tecnologias. **Ciências Agrárias**, v. 28, n. 134, 2024. Disponível em: <https://revistaft.com.br/revisao-do-processo-de-obtencao-da-celulose-kraft-e-suas-tecnologias/>. Acesso em: 08/06/2025.

STUMM, L. **ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA MITIGAÇÃO DA INCRUSTAÇÃO EM EVAPORADORES DE LICOR NEGRO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Aracruz. 42 p., 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/5987/TCC%20II%20-%20Leticia%20Stumm.pdf>. Acesso em: 08/07/2025.





- TEIXEIRA, S. P. S. **Análise e potencialidades de espécies químicas presentes no licor negro**. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Aveiro, 2008. Disponível em: <https://ria.ua.pt/handle/10773/3065>. Acesso em: 17/08/2025.
- THAKUR, K. V.; THAKUR, M. K. Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 109, p. 102-117, 2014.
- TIAGO, E. **Processo de recuperação de licor na indústria de papel e celulose**. LinkedIn, 2022. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/processo-de-recupera%C3%A7%C3%A3o-licor-na-ind%C3%A9stria-papel-e-celulose-tiago>. Acesso em: 08/06/2025.
- TRAJANO, H. L.; WYMAN, C. E. Fundamentals of biomass pretreatment at low pH. p. 103-128, 2013. In: WYMAN, C. E. **Aqueous pretreatment of plant biomass for biological and chemical conversion to fuels and Chemicals**. 2013.
- TRAN, H.; VAKKILAINEN, E. K. **The kraft chemical recovery process**. Tappi Journal, Atlanta, v. 7, n. 8, p. 20–28, 2008.
- URAKI, Y.; KODA, K. Utilização de Componentes da Parede Celular da Madeira. **Revista de Ciência da Madeira**, v. 61, n. 5 p. 447-454, 2015.
- VERACEL. **O que é celulose? Saiba para que serve e qual a sua importância**. 2022. Disponível em: <https://www.veracel.com.br/entenda-a-celulose-descubra-o-que-e-para-que-serve-e-sua-importancia/>. Acesso em: 29/04/2025.
- VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de Revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Rev. Diálogo Educ.**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-189, 2014.
- WANG, Z. J.; LAN, T. Q.; ZHU, J. Y. Lignosulfonate and elevated pH can enhance enzymatic saccharification of lignocelluloses. **Biotechnology for biofuels**, v. 6, n. 1, 9 p., 2013.
- WEILAND, F.; JACOBSSON, D.; WAHLQVIST, D.; EK, M.; WIINIKKA, H. Inorganic Chemistry during Pyrolysis, Gasification, and Oxyfuel Combustion of Kraft Pulping Black Liquor. **Energy Fuels**, v. 38, p. 5279–5287, 2024. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.3c05031>. Acesso em: 08/07/2025.





REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

YUE, X.; DU, X.; XU, Y. Dynamic viscoelasticity of kraft black liquor at a high dry solid content with the addition of sodium aluminate. **BioResources**, v. 13, n. 2, p. 4093–4101, 2018. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/dynamic-viscoelasticity-of-kraft-black-liquor-at-a-high-dry-solid-content-with-the-addition-of-sodium-aluminate/>.

Acesso em: 08/07/2025.

Recebido em: 12/11/2025

Aprovado em: 22/12/2025

Publicado em: 06/01/2026

