

## RESÍDUOS DA INDÚSTRIA PAPELEIRA - TRATAMENTOS E APLICAÇÕES

Diumara Kühl<sup>1</sup>  
Diogo Reis<sup>2</sup>  
Anaisa Lourenço da Silva<sup>3</sup>  
Bianca Sandrino<sup>4</sup>

**Resumo:** A indústria papelreira é uma das mais importantes no cenário industrial brasileiro, sendo responsável pela produção de papel e celulose utilizados em diversas áreas, como embalagens, livros, jornais, revistas, entre outros. Com todo esse desempenho na produção de papel a geração de resíduos também se torna significativa. A fim de se conhecer quais são os resíduos (subprodutos) deste processo neste trabalho uma revisão narrativa da literatura é apresentada. Resíduos deste tipo de produção são uma mistura de compostos chamados *dreg*, *grits*, lodo e cinzas, os quais são gerados em diferentes etapas do processo de fabricação do papel. Suas características físico-químicas e biológicas são variadas, o que influenciam na sua classificação segundo a legislação brasileira de resíduos sólidos. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), podem ser classificados em perigosos, não perigosos ou inertes, dependendo do seu potencial de risco à saúde humana e ao meio ambiente. Além disso, a PNRS estabelece a hierarquia de gestão, que prioriza a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada. Nesse sentido, os resíduos da indústria papelreira podem ter diversas destinações possíveis, tais como: aproveitamento energético, compostagem, produção de fertilizantes, fabricação de materiais de construção, entre outras. A escolha da melhor destinação depende de uma análise técnica e econômica de cada caso, considerando os aspectos ambientais, sociais e legais envolvidos.

**Palavras Chaves:** Resíduos indústria papelreira, tratamentos de resíduos, aplicações de resíduos.

## RESIDUES FROM THE PAPER INDUSTRY - TREATMENT AND APPLICATIONS

**Abstract:** The paper industry is one of the most important in the Brazilian industrial scenario, being responsible for the production of paper and cellulose used in several areas, such as packaging, books, newspapers, magazines, among others. With all this performance in paper production, waste generation also becomes significant. In order to know which are the residues (by-products) of this process in this work a review of the literature is presented. Waste from this type of production is a mixture of compounds called *dreg*, *grits*, silt and ash, which are generated at different stages of the papermaking process. Its physical-chemical and biological characteristics are varied, which influence its classification according

<sup>1</sup> Acadêmica do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Engenharias (CENE) no Centro Universitário de Telêmaco Borba (Unifateb) – Telêmaco Borba PR. E-mail para contato: diumarakiuhl@gmail.com

<sup>2</sup> Acadêmico do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Engenharias (CENE) no Centro Universitário de Telêmaco Borba (Unifateb) – Telêmaco Borba PR. E-mail para contato: diogo.aguiarsr@gmail.com

<sup>3</sup> Acadêmica do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Engenharias (CENE) no Centro Universitário de Telêmaco Borba (Unifateb) – Telêmaco Borba PR. E-mail para contato: anaisalourenco.sa@gmail.com

<sup>4</sup> Docente do Colegiado de Ciências Exatas, Naturais e Engenharias (CENE) no Centro Universitário de Telêmaco Borba (Unifateb) – Telêmaco Borba PR/BR. E-mail para contato: bianca.sandrino@unifateb.edu.br

to the Brazilian solid waste legislation. According to the National Solid Waste Policy (PNRS), they can be classified as hazardous, non-hazardous or inert, depending on their potential risk to human health and the environment. In addition, the PNRS establishes the management hierarchy, which prioritizes non-generation, reduction, reuse, recycling, treatment and environmentally appropriate final disposal. In this sense, waste from the paper industry can have several possible destinations, such as: energy use, composting, fertilizer production, manufacture of building materials, among others. Choosing the best destination depends on a technical and economic analysis of each case, considering the environmental, social and legal aspects involved.

**Keywords:** Paper industry waste, waste treatment, waste applications.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, dentre as grandes indústrias de processo químico, destaca-se a indústria de celulose. Neste ramo o país está entre os dez maiores produtores mundiais, atingindo 22,5 milhões de toneladas de celulose fabricada, seguindo como referência mundial neste tipo de produção (Ibá, 2022). A indústria papelreira é uma das mais importantes, sendo responsável pela produção de papel e celulose utilizados em diversas áreas, como embalagens, livros, jornais, revistas, entre outros. Com todo esse desempenho na produção de papel a geração de resíduos também se torna significativa. Felizmente, muitas empresas têm investido em tecnologias que permitem o reaproveitamento de seus resíduos, transformando-os em novos produtos ou utilizando-os como fonte de energia. Essa utilização por exemplo pode reduzir os custos com energia elétrica e diminuir a emissão de gases ((Avilés, 2023).

Contudo, na busca por inovação e melhoramento ainda busca-se reaproveitar resíduos de forma mais eficiente, persistindo ainda a necessidade de realizar atividades de pesquisa como ocorre em trabalhos acadêmicos de cursos de engenharias de instituições de ensino superior, onde tais empresas estão instaladas. Nestes trabalhos justifica-se o interesse nesses resíduos principalmente ao fato de que eles apresentam características que os tornam relevantes para a produção de novos materiais como por exemplo o uso de fibras para obter mais resistência mecânica em materiais cerâmicos (Collatto D., Bergmann, C.P., 2009) ou ainda a presença de minerais com valor nutricionais para uso em fertilizantes (Mittra, 2005).

De toda forma o reaproveitamento de materiais (rejeitos) pode trazer benefícios não só para tais empresas como a abordagens mais sustentáveis para gerenciar esses resíduos contribui para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), Figura 1, dos quais o Brasil é signatário.

**Figura 1:** Figura com simbologia dos 17 ODS.



Fonte: [gtagenda2030.org.br/ods/](http://gtagenda2030.org.br/ods/)

Dentre os ODS, os que são atingindo realizando trabalhos com resíduos pode-se citar:

- **ODS 12 - Consumo e produção responsáveis** que visa garantir padrões de consumo e produção sustentáveis (ODS, 2015). Na indústria papelreira, isso pode ser alcançado através da implementação de práticas de economia circular, como a reciclagem de papel e papelão para produção de novos produtos. A adoção de tecnologias mais eficientes também contribui para a redução do consumo de recursos naturais, como água e energia (Eckert, 2019).

- O **ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura** que incentiva o desenvolvimento de infraestruturas sustentáveis e a promoção da inovação tecnológica (ODS, 2015). Nesse contexto, a indústria papelreira pode investir em pesquisa e desenvolvimento de processos mais limpos e eficientes, bem como em tecnologias de tratamento de resíduos que minimizem os impactos ambientais (Tsai, 2018).

- O **ODS 6 - Água limpa e saneamento**, visto que a indústria papelreira é um consumidor significativo de água em seus processos (ODS, 2015). O ODS 6 destaca a importância de garantir o acesso à água limpa e o tratamento adequado de efluentes. A indústria papelreira pode contribuir para esse objetivo através da adoção de tecnologias de reutilização de água e do tratamento eficiente de efluentes antes de serem descartados (Peretz, 2021).

- O **ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima**, que trata da urgência em combater as mudanças climáticas e seus impactos (ODS, 2015). A indústria papelreira pode reduzir sua pegada de carbono ao implementar medidas para a eficiência energética, a utilização de fontes renováveis de energia e o reflorestamento responsável para suprir sua demanda de matéria-prima (Zhao, 2019).

Neste trabalho buscou-se conhecer e caracterizar resíduos da indústria papelreira sua classificação segundo legislação atual, explorar possíveis métodos de aproveitamento dos resíduos, discutir as aplicações potenciais em novos materiais bem como destacar as vantagens e desafios do uso destes resíduos. Uma vez que para que o processo de reaproveitamento seja seguro e os novos produtos gerados sejam de qualidade estes devem atender às normas ambientais e de segurança, segundo a Lei 12.305 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010).

## **METODOLOGIA**

A metodologia adotada neste estudo foi uma revisão narrativa, pois teve como objetivo fornecer uma visão geral e síntese da literatura existente sobre um tópico específico. As informações foram coletadas e sistematizadas diretamente do banco de dados científicos, bem como bibliotecas digitais, sites especializados e catálogos

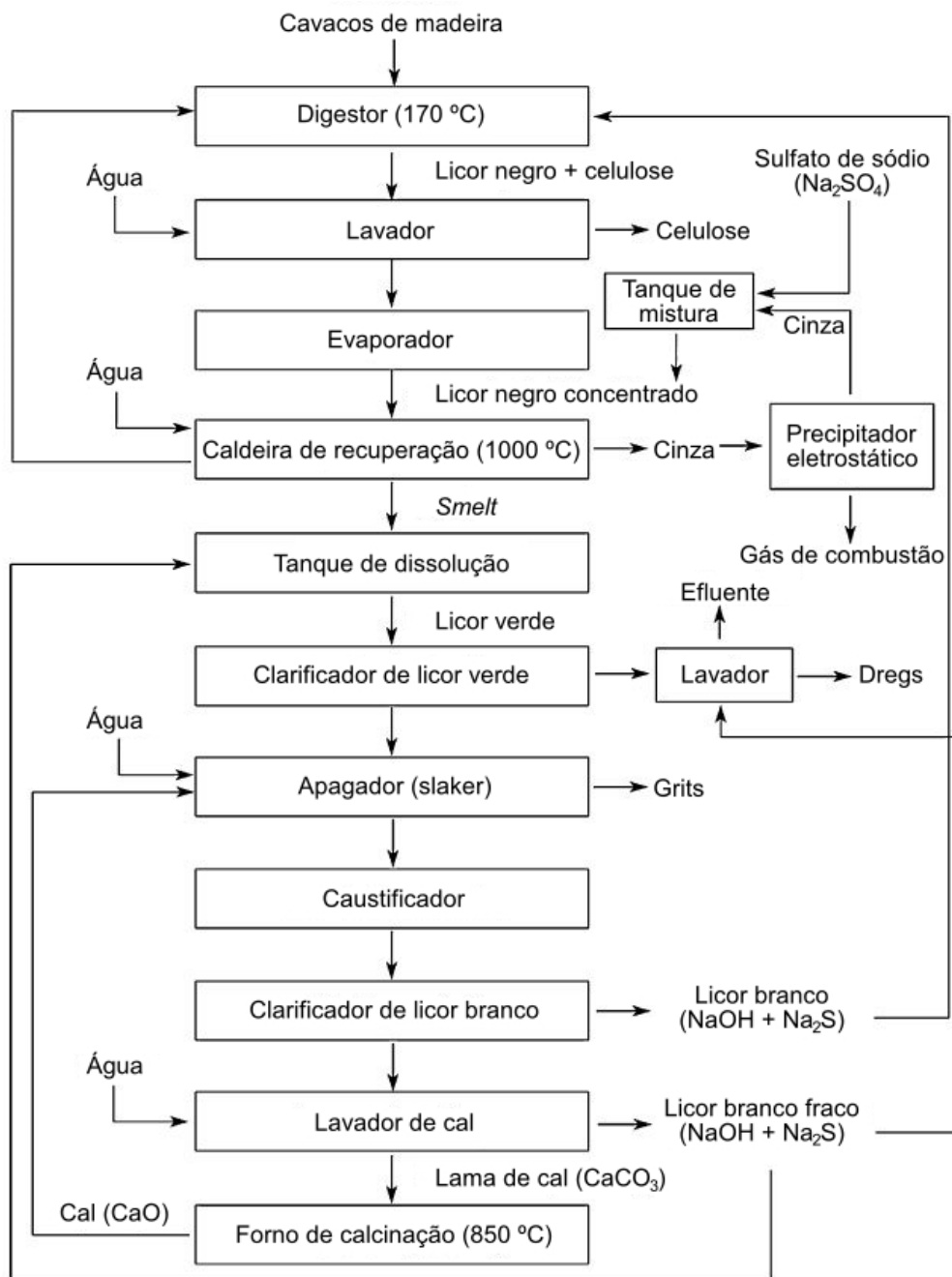
de teses e dissertações. As palavras-chave: resíduos indústria papel, tratamentos de resíduos, aplicações de resíduos, relacionadas ao tema foram identificadas e utilizadas para realizar buscas sistemáticas e abrangentes. Os estudos identificados foram selecionados e triados de acordo com critérios predefinidos, como relevância, qualidade e adequação aos objetivos da pesquisa. A seguir fez-se a extração de informações relevantes, discussão e interpretação dos dados para uma apresentação organizada, seguindo a estrutura adequada para um trabalho acadêmico.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A polpação Kraft é um método amplamente utilizado na indústria de papel para produzir pasta de celulose. Nesse processo, a madeira é tratada com uma mistura de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), conhecida como licor de polpação Kraft. Esses produtos químicos atuam como deslignificantes, removendo a lignina da madeira e deixando a celulose exposta. A reação entre o licor de polpação Kraft e a madeira ocorre em alta temperatura e pressão, em um reator chamado digestor. Esse processo permite que a lignina seja dissolvida e que a celulose se separe da madeira, formando uma polpa celulósica. A polpa resultante é conhecida por ter alta qualidade e ser amplamente utilizada na produção de papel. Além disso, o processo Kraft apresenta recuperação dos produtos químicos utilizados, o que contribui para a sustentabilidade e economia na indústria de papel (Mboowa, 2021.).

A principal matéria prima do processo *Kraft* é a madeira de eucalipto ou pinus com cerca de 7 anos de idade. Essa madeira é descascada e transformada em cavacos, de 15 a 25 mm de comprimento e espessura de 2 a 8 mm, o que facilita a penetração e absorção dos produtos químicos utilizados durante o cozimento da madeira com temperaturas próximas a 170° C. Após este cozimento, a polpa segue para etapa de lavagem e depuração, branqueamento, refinação e finaliza na máquina de papel. A figura 1 apresenta estas etapas do processo *Kraft* e nela pode-se perceber que além da celulose obtida existem também subprodutos também chamados de resíduos como cinza, efluentes, *dreg*, *grits* entre outros (Martins et al., 2007).

Figura 1: Esquema geral do processo Kraft, indicando os resíduos gerados

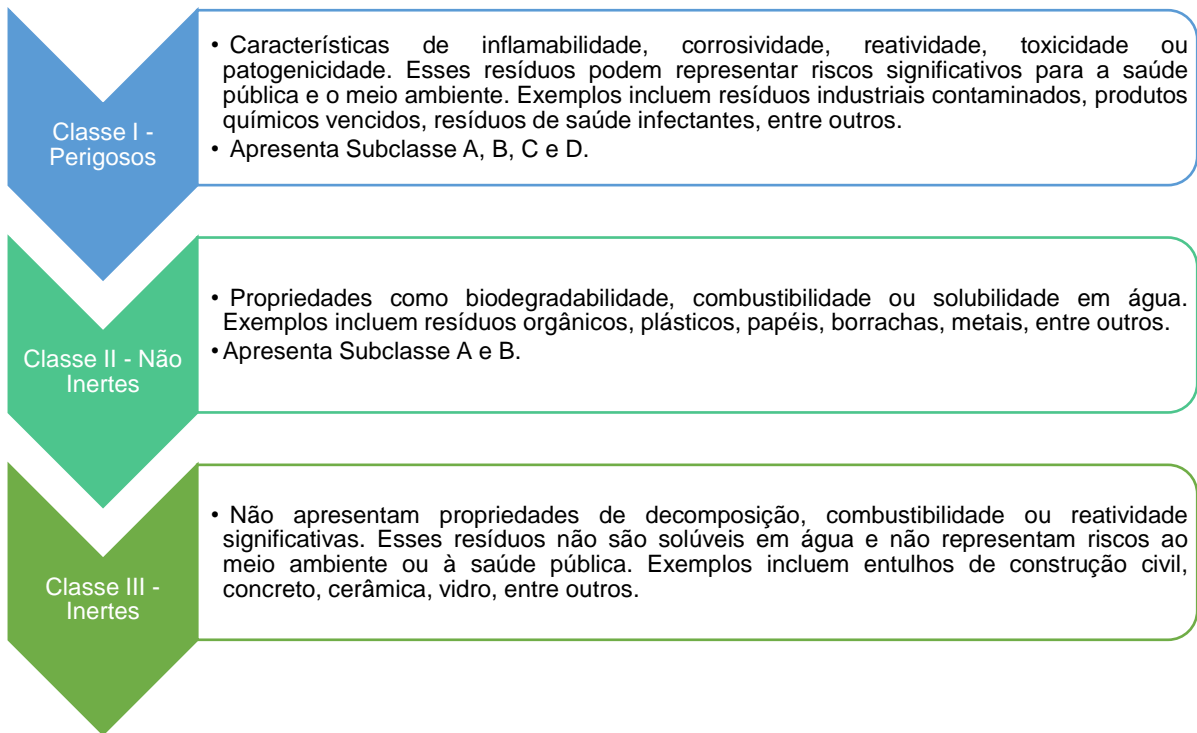


Fonte: Adaptada de Martins et al. (2007, p. 611).

Segundo a ABNT NBR 10004/2004, os resíduos são classificados em diferentes categorias com base em suas características físicas, químicas e biológicas. Essas classificações ajudam a determinar o manejo adequado, o tratamento e a

destinação final dos resíduos. A norma estabelece as seguintes classificações conforme organograma a seguir (Figura 2):

**Figura 2:** classificações dos resíduos segundo a ABNT NBR 10004/2004..



Fonte: texto de ABNT NBR 10004/2004.

Essas classificações e subclassificações são fundamentais para garantir a gestão adequada dos resíduos por profissionais capacitados, desde a coleta e o armazenamento até o transporte, tratamento e destinação final, visando a proteção da saúde humana e do meio ambiente e de acordo com as normas vigentes.

A seguir a fim de se conhecer sobre os resíduos ou subprodutos do processo *Kraft* um pequeno levantamento é apresentado:

### Dregs

Esses resíduos surgem durante a fase de clarificação do licor, onde ocorre a recuperação dos produtos químicos. Os *dregs* são caracterizados como um material sólido de cor escura, vide imagem A da Figura 3, que se sedimenta e é removido

durante a clarificação do licor verde. Sua composição típica inclui carbono não queimado, ferro, sílica, cálcio, alumina, magnésio e sulfetos. São classificados como classe IIA, de acordo com a ABNT NBR 10004/2004..

### Grits

São resíduos sólidos e granulares classificados como classe IIA, de acordo com a ABNT NBR 10004/2004, não inertes. Possuem uma aparência semelhante à areia ou pedregulho, com cor amarelada, ausência de odor e baixa solubilidade, vide imagem B da Figura 3. Eles são gerados como resultado do processo de calcinação da lama de cal e do calcário em fornos de cal. Contêm cerca de 88% de  $\text{CaCO}_3$  e 2% de  $\text{NaOH}$ . Além disso, são encontrados teores abaixo de 1% de óxidos como  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . No entanto, é necessário destacar que a composição desses resíduos pode variar de acordo com as matérias-primas e parâmetros de processo utilizados em cada planta industrial (Rodrigues et al., 2016 e Cabral et al., 2008).

### Lodo biológico

Este é um subproduto gerado durante a etapa de tratamento de efluentes líquidos provenientes da indústria de celulose, vide imagem C da Figura 3. É composto por materiais orgânicos, microorganismos e outros resíduos resultantes do tratamento dos efluentes. Ele pode conter celulose, lignina residual, nutrientes e microorganismos, além de compostos químicos indesejados (Zhou, 2013).

### Cinzas

As cinzas de processo Kraft, vide imagem D da Figura 3, são geralmente coletadas em sistemas de recuperação de energia, como caldeiras de recuperação, onde são capturadas antes que sejam liberadas na atmosfera. Essas cinzas podem passar por um processo de tratamento para remover impurezas e metais pesados, tornando-as adequadas para uso em outras aplicações visto sua composição rica em minerais como C, P, N, K, Mg (Pasquali, 2018).



**Figura 3:** Imagem de resíduos do tipo dregs (A), grits (B), lodo (C) e cinzas (D).



(A)



(B)



(C)



(D)

Fonte: Acervo dos autores.

## ALGUNS TRATAMENTOS E APLICAÇÕES POSSÍVEIS PARA OS RESÍDUOS DE POLPAÇÃO KRAFT

Existem alguns tratamentos e aplicações possíveis para os resíduos de polpação Kraft – *dregs*, *grits*, lodo e cinzas -, dependendo das características e

composição específicas do resíduo. A seguir apresenta-se algumas opções comumente utilizadas:

- Disposição em aterro sanitário: Os *dregs*, *grits* e cinzas podem ser encaminhados para aterros sanitários projetados para receber resíduos sólidos industriais (Farage, 2019). Nesse caso, é importante que o aterro tenha medidas de controle ambiental adequadas para evitar a contaminação do solo e da água subterrânea. E as cinzas podem especificamente ser utilizadas como material de cobertura em aterros sanitários ou em aterros de resíduos industriais, ajudando a controlar odores, melhorar a estabilidade do solo e reduzir a infiltração de água (Farage, 2019).
- Reutilização na indústria: Dependendo da composição dos *dregs*, *grits* e cinzas, pode haver possibilidade de reutilização na própria indústria de celulose ou em outros setores. Por exemplo, os *dregs* podem ser utilizados como carga em materiais de construção, fabricação de cimento (Torres, 2020). As cinzas podem ser utilizadas como materiais de construção, incorporadas em concreto, argamassa, tijolos ou na fabricação de blocos de pavimentação (Jia, 2022).
- Tratamento e recuperação de componentes: É possível realizar tratamentos químicos ou físicos nos *dregs*, *grits* e cinzas para recuperar componentes de valor. Por exemplo, a sílica presente pode ser separada e utilizada em diferentes aplicações, como na indústria de vidro, cerâmica ou na fabricação de sílica gel (Lahary, 2018).
- Incineração: Em alguns casos, os *dregs* e lodos podem ser submetidos à incineração em instalações adequadas. Esse processo pode reduzir o volume do resíduo e gerar energia térmica, que pode ser aproveitada na própria indústria ou em sistemas de cogeração (Doddapaneni, 2022).
- Processos de separação e purificação: É possível utilizar processos físicos, como peneiramento, classificação por tamanho ou separação magnética (Ilyina, 2016), para separar os componentes indesejados dos *grits* e obter frações mais puras para aplicação em outros processos. Os

lodos podem passar por processos de sedimentação e clarificação, nos quais as partículas sólidas se separam da água, permitindo a recuperação da água clarificada para reutilização no processo produtivo (Zulmisefnides, 2021). Esse tratamento pode reduzir a quantidade de resíduo gerado e facilitar o manuseio e disposição dos sólidos remanescentes. A desidratação também é um processo que remove a água presente nos lodos, pode ser realizada por meio de técnicas como centrifugação, filtros prensa, filtros de vácuo ou secagem térmica. O resíduo desidratado pode ser mais facilmente manuseado e transportado para a destinação final adequada (Sakano, 2001).

- Tratamento químico: Dependendo das características dos *grits*, pode ser viável realizar tratamentos químicos para remover impurezas ou melhorar a qualidade do material. Esses tratamentos podem envolver processos de lixiviação, flotação ou reações químicas específicas (Bacarin, 2020). Em alguns casos, pode ser necessário realizar tratamentos químicos nos lodos para remover substâncias indesejáveis ou melhorar suas características. Por exemplo, processos de coagulação, floculação ou precipitação química podem ser empregados para remover impurezas ou reduzir a concentração de certos compostos. Para estabilizar as cinzas, reduzindo a lixiviação de metais pesados ou outros compostos indesejáveis indica-se processos de solidificação ou imobilização, nos quais são adicionados agentes químicos para reduzir a solubilidade e a mobilidade dos componentes tóxicos (Zulmisefnides, 2021).
- Tratamento biológico: Alguns lodos da polpação Kraft podem ser tratados biologicamente por meio de processos como lagoas de estabilização, reatores anaeróbios ou biodigestores. Nesses processos, organismos biológicos degradam a matéria orgânica presente nos lodos, reduzindo sua carga poluente. O efluente tratado pode ser descartado ou utilizado para fins específicos, como irrigação agrícola (Kaur, 2020; Ekstrand, 2019).

É importante ressaltar que a escolha do tratamento adequado para os resíduos de polpação Kraft deve levar em consideração as regulamentações ambientais vigentes, as características específicas do resíduo e a viabilidade técnica e econômica das opções disponíveis. É recomendado contar com a assessoria de profissionais especializados em gestão de resíduos para avaliar a melhor abordagem para o tratamento desses resíduos.

## CONCLUSÃO

Os resíduos da indústria papelreira (*dreg*, *grits*, lodo e cinzas) são gerados em diferentes etapas do processo produtivo e apresentam características físico-químicas variadas. Segundo a legislação brasileira de resíduos sólidos (Lei nº 12.305/2010), esses resíduos podem ser classificados como perigosos (classe I) ou não perigosos (classe II), dependendo do seu potencial de risco à saúde humana e ao meio ambiente. A destinação adequada desses resíduos é um desafio para o setor, pois envolve aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Algumas possibilidades de destinação são: Disposição em aterro sanitário, reutilização na indústria, tratamento e recuperação de componentes, incineração, processos de separação e purificação como a reciclagem, a compostagem, a aplicação em solos agrícolas ou florestais, entre outras. Cada uma dessas alternativas apresenta vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas caso a caso, considerando as características dos resíduos, as condições locais e os requisitos legais. A escolha da melhor destinação deve visar à minimização dos impactos ambientais e à maximização do aproveitamento dos recursos contidos nos resíduos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004) **Resíduos sólidos - Classificação: NBR 10004** - Rio de Janeiro.
- AVILÉS, Francisco N. et al. A mixed-integer programming model for an integrated production planning problem with preventive maintenance in the pulp and paper industry. **Engineering Optimization**, v. 55, n. 8, p. 1352-1369, 2023.

BACARIN, Giovani B. et al. Natural rubber composites with Grits waste from cellulose industry. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, p. 1126-1139, 2020.

BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**.

CABRAL, F. et al. **Use of Pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials** *Bioresource Technology*, v 99, n 17.p.8294-8298, 2008.

COLLATTO, D.; BERGMANN, C. P. **Emprego de resíduo de celulose da indústria de papel como matéria-prima para fabricação de material cerâmico**. *Cerâmica Industrial*, v. 14, n. 3, p. 30-35, 2009.

DODDAPANENI, Tharaka Rama Krishna C.; PÄRN, Linnar; KIKAS, Timo. Torrefaction of pulp industry sludge to enhance its fuel characteristics. **Energies**, v. 15, n. 17, p. 6175, 2022.

ECKERT, Sandra; ECKERT, Sandra. The expert: striving for a circular economy. **Corporate Power and Regulation: Consumers and the Environment in the European Union**, p. 85-134, 2019.

EKSTRAND, Eva-Maria. Anaerobic digestion in the kraft pulp and paper industry: Challenges and possibilities for implementation. 2019.

FARAGE, Rogério Machado Pinto et al. Intermediate covering of municipal solid waste landfills with alkaline grits, dregs and lime mud by-products of kraft pulp production. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 117985, 2019.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual - IBÁ 2022**. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em 26 de junho de 2023.

ILYINA, Anna et al. Magnetic separation of nanobiostructured systems for innovation of biocatalytic processes in food industry. In: **Novel Approaches of Nanotechnology in Food**. Academic Press, 2016. p. 67-96.

JIA, Guanhua et al. A Review on the Application of Circulating Fluidized Bed Fly Ash in Building Materials. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2022, 2022.

KAUR, Rajwinder; TYAGI, Rajeshwar Dayal; ZHANG, Xiaolei. Review on pulp and paper activated sludge pretreatment, inhibitory effects and detoxification strategies for biovalorization. **Environmental research**, v. 182, p. 109094, 2020.

LAHARY, Pierre-Yves; CHEVALLIER, Yvonick; VALERO, Remi. **Precipitated silica and paper industry/other applications thereof**. U.S. Patent n. 10,023,471, 17 jul. 2018.

MARTINS, F. M. *et al.* **Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 147, n. 1-2, p. 610-617, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.057>.

MBOOWA, Drake. A review of the traditional pulping methods and the recent improvements in the pulping processes. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-12, 2021.

MITTRA, B. N. *et al.* **Fly ash—a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system**. *Fuel*, v. 84, n. 11, p. 1447-1451, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2: Erradicação da Fome**. 2015. Disponível em: (<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>). Acesso em: 17/09/2023.

PASQUALI, Michela *et al.* Stabilized biomass ash as a sustainable substitute for commercial P-fertilizers. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 7, p. 2199-2207, 2018.

PERETZ, Roi *et al.* Making cardboard and paper recycling more sustainable: Recycled paper sludge for energy production and water-treatment applications. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, p. 1599-1608, 2021.

RODRIGUES, R.L *et al.* **Caracterização de resíduos sólidos da indústria de celulose tipo Kraft visando sua aplicação no desenvolvimento de materiais cerâmicos** 2016, Instituto Federal do Espírito Santo – campus Vitória Natal -RN. Disponível em < <https://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/104-057.pdf>> Acesso em 28 de abril de 2023.

SAKANO, Koji. (2001). Method for dehydrating paper industry waste. < <https://patents.google.com/patent/JP2017006877A/en> > Acesso em 22 de setembro de 2023.

TORRES, Caio Moreira Miquelino Eleto *et al.* Dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to Portland cement clinker. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, p. 851-861, 2020.

TSAI, Wen-Hsien; LAI, Shang-Yu. Green production planning and control model with ABC under industry 4.0 for the paper industry. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2932, 2018.

WASTOWSKI, A. D. **Química da madeira**. Rio de Janeiro: Editora: Interciência, 2018. ISBN 9788571934078.

ZHAO, Qingjian et al. Energy flows and carbon footprint in the forestry-pulp and paper industry. **Forests**, v. 10, n. 9, p. 725, 2019.

ZHOU, Xiangdong. **Methods to degrade sludge from pulp and paper manufacturing**. U.S. Patent n. 8,460,900, 11 jun. 2013.

ZULMISEFNIDES, Indri. Modeling of the Sedimentation Process in Water. **Jurnal Mandiri IT**, v. 10, n. 1, p. 9-13, 2021.

*Recebido em 25/09/2023*

*Versão corrigida recebida em 20/08/2024*

*Aceito em 10/10/2024*

*Publicado online em 16/12/2024*