

**MATEUS GUARDA DE FREITAS**

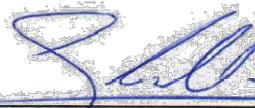
**CARACTERIZAÇÃO DO LODO DA INDÚSTRIA DE PAPELÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

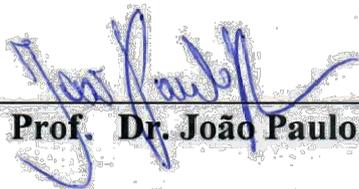
**Orientador: Prof. Guilherme Martinez Mibielli**

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 05 / 12 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**



**Prof. Dr. Guilherme Martinez Mibielli- UFFS**



**Prof. Dr. João Paulo Bender – UFFS**



**Prof. Dr. João Guilherme Leite - UFFS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CHAPECÓ  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MATEUS GUARDA DE FREITAS

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO DA INDÚSTRIA DE PAPELÃO**

CHAPECÓ

2019

MATEUS GUARDA DE FREITAS

## **CARACTERIZAÇÃO DO LODO DA INDÚSTRIA DE PAPELÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof.º Guilherme Martinez Mibielli

CHAPECÓ

2019

# CARACTERIZAÇÃO DO LODO DA INDÚSTRIA DE PAPELÃO

Freitas, M.G.<sup>1</sup> Mibielli, G.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Chapecó

<sup>2</sup>Professor orientador – Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Chapecó

## RESUMO

A indústria do papel mantém-se por décadas como uma das líderes mundiais em consumo de biomassa e consumo de água, milhões de toneladas de lodo proveniente das estações de tratamento de efluentes são geradas anualmente, necessitando a destinação correta. A caracterização da biomassa e tecnologias energéticas como a pirólise ajudam a destinar esse resíduo adequadamente, gerando subprodutos como carvão, líquido e gases não-condensáveis, úteis em outras cadeias produtivas. Neste estudo foi realizada a caracterização físico-química imediata do lodo (umidade, teor de material volátil, teor de cinzas e carbono fixo). Verificou-se pela análise de variância ANOVA as diferenças significativas entre as normas ABNT e ASMT; quantificou-se o rendimento por pirólise nas temperaturas de 400°C, 500°C, 600°C, 700°C e 800°C. O lodo apresentou teor de cinzas de 39.57±1.08, teor de voláteis de 51.54±0.99, carbono fixo de 8.89% pelas normativas da ASTM. Os teores de cinzas, voláteis e o carbono fixo pelas normas ABNT foram de 43.04±4.94, 55.07±1.42 e 1.89%, respectivamente. As análises de variância mostraram que não há diferença significativa para os procedimentos de teor de cinzas, e há diferenças significativas entre os processos de obtenção dos teores de voláteis. As normas ASTM apresentaram menor desvio-padrão nos ensaios. A pirólise apresentou rendimentos para as temperaturas de 400°C, 500°C, 600°C, 700°C e 800°C, respectivamente, de 78.12%, 72.12%, 70.06%, 68.76% e 66.73% para a fração de carvão, 8.17%, 19.19%, 17.32%, 18.76% e 14.61% para a fração de líquido e 13.71%, 8.69%, 12.62%, 12.49% e 18.66% para a fração de gases. A pirólise com taxa de aquecimento baixa teve rendimento de 77,33% e 73,75% para carvão, 10,00% e 5,73% para líquido, 12,66% e 20,52% para gases, respectivamente nas temperaturas de 400° C e 500°C.

**Palavras-chave:** Biomassa, Pirólise, Caracterização.

## ABSTRACT

The paper industry has been maintained for decades as one of the world leaders in biomass consumption and water consumption, millions of tons of sludge from effluent treatment plants are generated annually, requiring the correct destination. The characterization of biomass and energy technologies such as pyrolysis help to allocate this residue properly, generating by-products such as coal, liquid and non-condensable gases, useful in other production chains. In this study, immediate physicochemical characterization of sludge (moisture, volatile material content, ash content and fixed carbon) was performed. Significant differences between ABNT and ASMT standards were verified by anova variance analysis; pyrolysis yield was quantified at temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C. The sludge presented ash content of 39.57±1.08, volatile content of 51.54±0.99, fixed carbon of 8.89% by astm regulations. Ash, volatile and fixed carbon contents by ABNT standards were 43.04±4.94, 55.07±1.42 and 1.89%, respectively. Variance analyses showed that there is no

significant difference for ash content procedures, and there are significant differences between the processes of obtaining volatile contents. ASTM standards showed lower standard deviation in the assays. Pyrolysis yielded yields for temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C, respectively, 78.12%, 72.12%, 70.06%, 68.76% and 66.73% for the coal fraction, 8.17%, 19.19%, 17.32%, 18.76% and 14.61% for the net fraction and 13.71%, 8.69%, 12.62%, 12.49% and 18.66% for the gas fraction. Pyrolysis with low heating rate had a yield of 77.33% and 73.75% for coal, 10.00% and 5.73% for liquid, 12.66% and 20.52% for gases, respectively at temperatures of 400° C and 500°C.

**Keywords:** Biomass, Pyrolysis, Characterization.

## **1 INTRODUÇÃO**

A geração de resíduos sólidos, de uma maneira geral, vem sendo cada vez mais alvo da sociedade, o consumo de produtos provoca geração de resíduos e torna-se necessário ter uma destinação correta para que seu impacto no ambiente seja minimizado (BRASIL, 2010).

### **1.1 Geração de resíduos sólidos no Brasil**

Como indica a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), o consumo de produtos sempre vem atrelado à geração de um produto indesejado que é necessário ser destinado corretamente para que seu impacto no ambiente seja minimizado (BRASIL, 2010). A disposição inadequada e a contaminação das águas e solo, afeta o bem-estar e a sobrevivência do homem, sendo então necessário uma crescente melhoria nas políticas públicas de meio ambiente para essa demanda e consumo de recursos e resíduos.

As estimativas de geração de resíduos sólidos recicláveis no Brasil são de difícil quantificação, são várias as causas que dificultam a estimativa correta, como disposições irregulares e o comércio informal de reciclagem. Tendo isso em vista, uma análise do consumo aparente das embalagens, nota-se no setor de papel papelão, o consumo aparente de embalagens per capita, em 2008, foi de 21,9 kg (BRASIL, 2012), saltando para 44,7kg em 2015 (BRASIL, 2018a). Esse valor pode representar cerca de 50% do consumo aparente de papel, já que os papéis destinados a outros usos quase sempre são descartados como resíduo sólido urbano (RSU) (BRASIL, 2012).

### **1.2 Indústria de papelão**

Os processos de produção de madeira em papel/papelão consistem na transformação termoquímica de cavacos de madeira em pasta celulósica, a partir dessa pasta, os diversos tipos de papéis podem ser fabricados (MARTIN, 2015).

Em um contexto global, as indústrias do setor de produção de papelão lideram em consumo de biomassa como matéria-prima (SVENSSON, BERNTSSON, 2014), também como um dos principais consumidores de água, atrás somente das indústrias químicas e metalúrgicas (KALLAS, MUNTER, 1994). Nos meados dos anos 40, o volume de água necessário para se produzir uma tonelada de celulose era, em média, de 417,3 m<sup>3</sup>, caindo drasticamente nos anos 70 com um volume de 112 m<sup>3</sup> (FOELKEL, 2011). Atualmente algumas plantas modernas apresentam rendimentos entre 20 e 30 m<sup>3</sup> de água por tonelada de celulose (MARTIN, 2015).

A redução do consumo de água ao longo dos anos deve-se ao fato da melhoria e aumento de eficiência dos processos adotados pela indústria, como equipamentos mais modernos que permitem maior eficiência no tratamento dos efluentes e reutilização da água em um circuito fechado, diminuição das perdas por evaporação, legislações mais rigorosas, a demanda mais ecológica do mercado, e outros (FOELKEL, 2011).

### **1.3 Indústria de papelão reciclado**

Os processos de produção de madeira em papel/papelão consistem na transformação termoquímica de cavacos de madeira em pasta celulósica, a partir dessa pasta, os diversos tipos de papéis podem ser fabricados (MARTIN, 2015). Como forma de reduzir a degradação do meio ambiente e aumento da utilização de recursos, as empresas investem em reutilização de papel como matéria prima para fabricação de papelão.

A reciclagem do papel é um processo em que se retira os materiais indesejáveis do material recolhido (plásticos, papel sujo ou impermeável, grampos, etc.), adiciona-se aditivos como sulfato de alumínio, fibras virgens e amido de mandioca, que formam uma pasta, e então é prensada na gramatura desejada, secada e enrolada em bobinas (SOUSA, 2016).

Lodos advindos da indústria de papelão reciclado tem características distintas, com coloração cinza, odor característico e teor de umidade em torno de 60% (MAEDA, 2010).

Justifica-se, pela dificuldade de tratamento dos resíduos a necessidade de caracterização. Dando uma destinação alternativa como por exemplo a geração de calor

direto, geração de biocombustíveis por fermentação, compostos químicos complexos refinados a partir do líquido formado em pirólise.

Este trabalho visa caracterizar o lodo gerado no tratamento de efluentes de uma indústria de papelão, obtendo através da análise imediata os teores de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo, bem como posteriormente quantificar o rendimento da biomassa em um reator pirolítico.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Lodo da indústria de papelão**

O lodo utilizado neste trabalho foi retirado da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de papelão, que mistura o lodo de todas as etapas de tratamento para descarte. A empresa utiliza papel reciclado como matéria prima e é localizada na região oeste de Santa Catarina.

No processo final da estação de tratamento, o material em suspensão é separado do efluente líquido por decantação e centrifugação, gerando um lodo com 64% de umidade. Este lodo úmido, após sua captação, foi seco em estufa à 105 °C por 24 horas, gerando desta forma um lodo seco, o qual foi armazenado em sacos plásticos e posterior congelado para utilização no trabalho, seguindo a metodologia utilizada por FRAGOSO (2019).

### **2.2 Determinação de cinzas, carbono fixo e matéria volátil do lodo.**

O lodo seco foi caracterizado por meio das metodologias da American Society for Testing and Materials (ASTM), e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), descritos a seguir, e abreviados na tabela-resumo, Tabela 1.

*Tabela 1 – Tabela-resumo Métodos e fórmulas para caracterização do lodo seco*

<b>Análise</b>	<b>Método utilizado</b>
Materiais Voláteis	ASTM D3175-18 ABNT NBR 16587
Teor de Cinzas	ASTM D2415-15 ABNT NBR 16586
Teor de Carbono Fixo	Por diferença

As análises foram realizadas em triplicata, a partir de amostras de lodo seco mantidas em estufa e dessecadores. Os cálculos foram realizados em base seca.

O teor de matéria volátil foi obtido colocando a amostra de massa conhecida em cadinho fechado em uma mufla a 900°C durante 7 minutos pela norma ASTM. Na norma ABNT a amostra é posta na porta da mufla por 2 minutos e em seguida inserida no interior do forno por mais 5 minutos, após o resfriamento em dessecador, o cadinho foi pesado novamente, o teor de matéria volátil da amostra será aferido e expresso em percentagem.

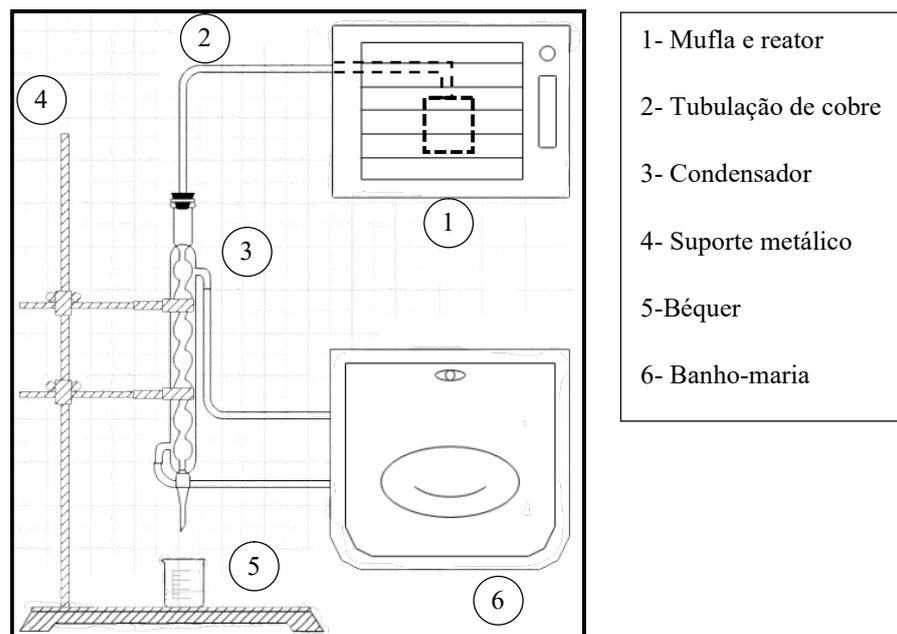
O teor de carbono fixo, que é carbono não liberado no aquecimento devido à ausência de oxigênio, foi determinado pela massa total de uma amostra de lodo seco menos os teores de cinzas e de matéria volátil, expresso em percentagem.

O teste ANOVA foi utilizado para verificar as diferenças significativas entre as normas ABNT e ASTM para determinação dos teores de voláteis e cinzas.

### **2.3 Pirólise**

A pirólise foi realizada por meio de aparelho construído, utilizando uma mufla com controlador de temperatura Digimec, tipo FHMP como aquecimento. O reator de ferro galvanizado, contendo 15 gramas de lodo seco, com tampa rosqueada possui conexão para cano de cobre, por onde os gases serão expelidos e captados por um condensador. A camisa do condensador terá temperatura controlada de 10°C por um banho-maria refrigerado com circulação ultratermostatizado, modelo AL 152/22 AmericanLab. A biomassa será exposta às temperaturas de 400 e 500°C com taxa de aquecimento lenta, e 400, 500, 600, 700 e 800°C com taxa de aquecimento alta. A fração líquida e condensável foi coletada em um béquer de massa conhecida. Foi adaptado a utilização de álcool 70% para coletar o líquido residual contido no condensador. A figura 1 mostra como o reator de pirólise foi montado no laboratório.

Figura 1- Desenho esquemático do reator de pirólise



Fonte: Autor (2019).

Foram realizados testes de pirólise com taxa de aquecimento lenta, ligando a mufla após a inserção do reator, aquecendo-o até a temperatura desejada, foram testadas as temperaturas finais de 400° C e 500° C. Posteriormente comparadas com os ensaios de mesma temperatura e taxa de aquecimento maior.

As massas de carvão e líquido serão obtidas por pesagem, a fração gasosa não condensada será obtida por diferença.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização do Lodo

A caracterização imediata envolve a obtenção dos totais de cinzas, matéria volátil, umidade e carbono fixo, de acordo com procedimento das normas propostas, conforme podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização do lodo seco de indústria de papel pelas normas ASTM e ABNT

Parâmetro e norma utilizada	Fração média (%)	
Materiais Voláteis	ABNT NBR 16587	55.07±1.42
	ASTM D3175-18	51.54±0.99
Teor de Cinzas	ABNT NBR 16586	43.04±4.94
	ASTM D2415-15	39.57±1.08

Carbono Fixo	ABNT	1.89
	ASTM	8.89

Fonte: Autor (2019)

O teste ANOVA apresentado na Tabela 3 demonstra que, para os equipamentos utilizados neste trabalho, o F calculado é maior que o F crítico, indicando neste caso uma diferença significativa entre as duas normativas ASTM e ABNT para o teor de voláteis.

Tabela 3 - ANOVA fator único dos resultados de teores de voláteis entre as normas ABNT e ASTM

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0.0019	1	0.0019	12.56	0.024	7.71
Dentro dos grupos	0.0006	4	0.0001			
Total	0.0025	5				

S.Q. = Soma de quadrados; G.L. = Grau de liberdade; Q.M. = Quadrado médio. Fonte: Autor (2019)

O teste de ANOVA na Tabela 4 mostra que não há diferença significativa entre as normas ABNT e ASTM para determinação de cinzas, sendo que F é menor que F crítico.

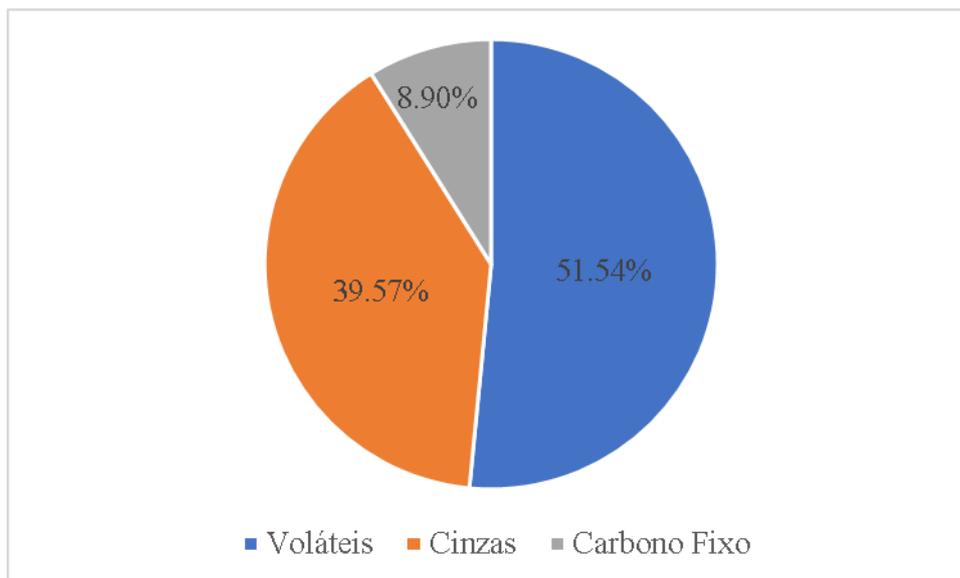
Tabela 4 - ANOVA fator único dos resultados de teor de cinzas entre as normas ABNT e ASTM

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0.0018	1	0.0018	1.42	0.299	7.71
Dentro dos grupos	0.0051	4	0.0012			
Total	0.0069	5				

S.Q. = Soma de quadrados; G.L. = Grau de liberdade; Q.M. = Quadrado médio. Fonte: Autor (2019)

Analisando os testes anova e verificando os desvios-padrões dos resultados para cada metodologia aplicada, conclui-se que as normas ASTM tiveram um melhor desempenho. Destacam-se as frações de análise imediata (base seca) pela norma ASTM no gráfico de pizza da Figura 2.

Figura 2- Caracterização imediata média do lodo seco pelo método ASTM (base seca)

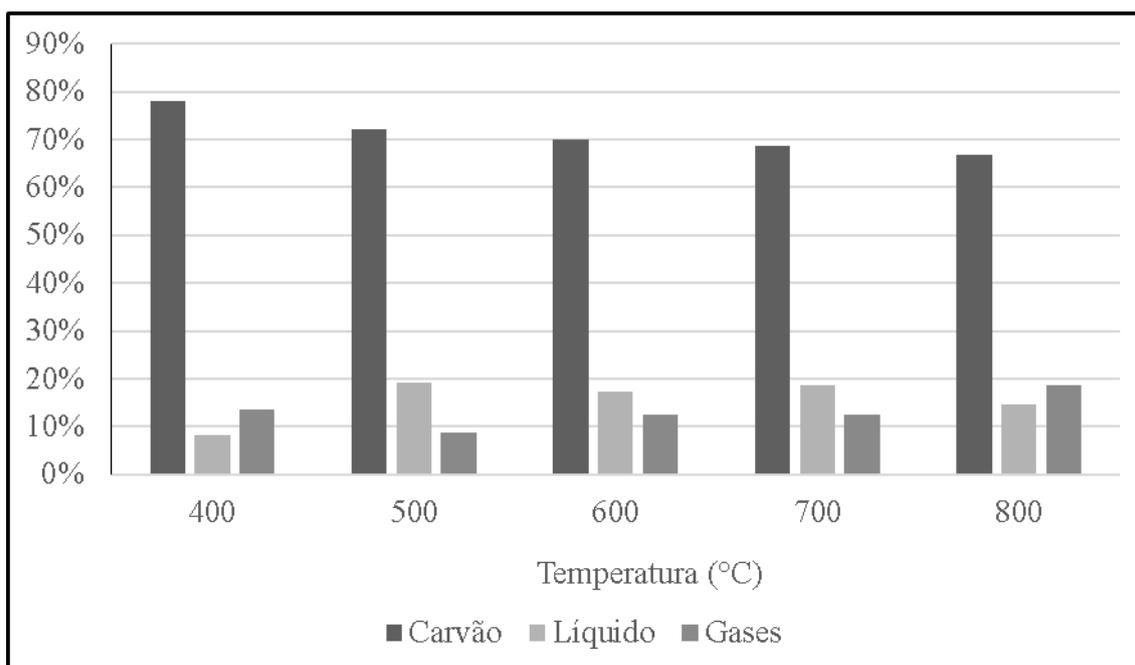


Fonte: Autor (2019)

### 3.2 Processo de Pirólise do Lodo

O tratamento de degradação térmica, pirólise, foi posto sobre o lodo seco, que gerou frações de carvão, líquidos e gases, para diferentes temperaturas, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Rendimento das frações colhidas em pirólise com diferentes temperaturas e alta taxa de aquecimento.



Fonte: Autor (2019)

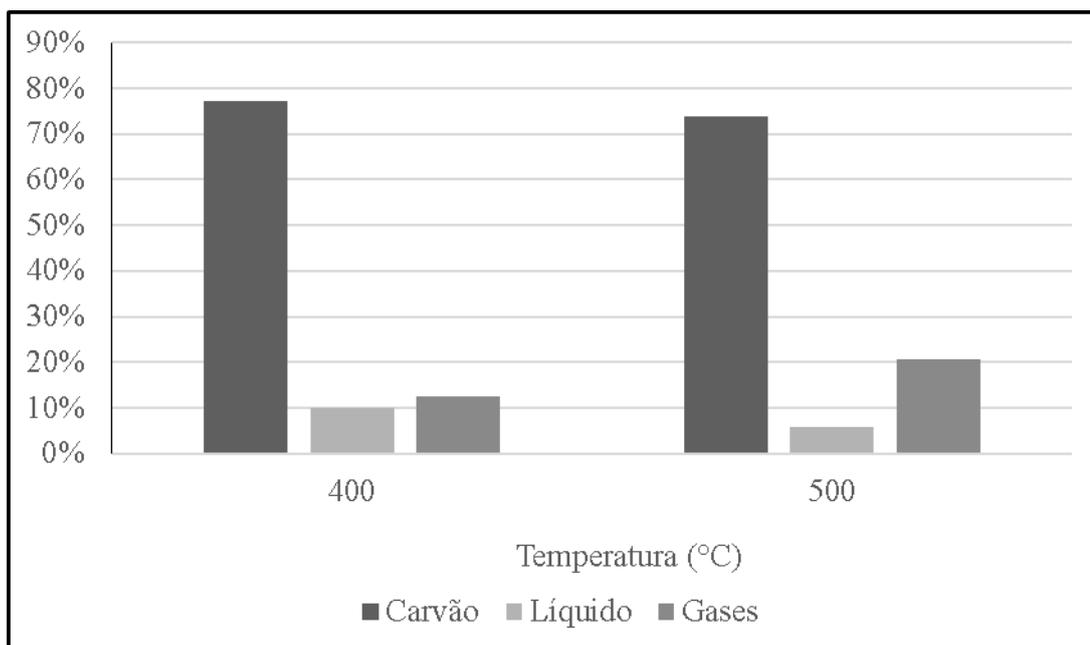
Observando a Figura 3, é possível destacar que o rendimento de carvão é maior entre as frações, principalmente em baixas temperaturas (400 °C), pois ocorre maior carbonização da biomassa, atingindo um rendimento de 78,12 %. Esse rendimento vai caindo gradualmente com o aumento da temperatura, com menor rendimento na temperatura de 800 °C com 66,73 %. Para as outras temperaturas, os rendimentos foram de 72,12 %, 70,06 %, e 68,76 %, respectivamente para 500 °C, 600 °C e 700 °C.

Obteve-se um rendimento máximo de líquido de 19,19 % a 500 °C, sendo o menor rendimento na temperatura de 400°C com apenas 8,17 %, os outros rendimentos foram de 17,32%, 18,76% e 14,61%, respectivamente para 600°C, 700°C e 800°C. A fração líquida do processo de pirólise de biomassa lignocelulósica geralmente contém compostos como ácido acético, do grupo acetila, moléculas do grupo aromático furfural, ácido fórmico, metanol e ácido urônico (GUEDES, et al, 2010). Uma pirólise feita com casca de arroz obteve rendimento de bio-óleo de 28 % com temperatura de 450°C, 24% com 650°C, reduzindo para 20 % em temperatura de 900 °C (LIN, CHANG e REI, 1986). Leal (2010) encontrou em lodo de esgoto, frações aquosas entre 11,5 e 24,2 %. Nota-se a diversidade de rendimentos de acordo com a origem da biomassa.

A fração gasosa na maioria das biomassas são compostas predominantemente por CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, esse último podendo alimentar o próprio processo de pirólise (ROCHA, PÉREZ e CORTEZ, 2004). Altos rendimentos da fração gasosa são obtidos em temperaturas mais elevadas e baixo tempo de residência, chegando a 35 % com uma temperatura de 900°C e 5s de residência (LIN, CHANG e REI, 1986). O rendimento da fração gasosa teve seu pico na temperatura de 800°C, com 18,66 %. Os outros rendimentos foram 13,71 %, 8,69 %, 12,62 % e 12,49 %, respectivamente nas temperaturas de 400 °C, 500 °C, 600 °C e 700 °C.

A pirólise com taxa de aquecimento lenta apresentou rendimentos de 77,33% e 73,75% para carvão, 10,00% e 5,73% para líquido, 12,66% e 20,52% para gases, respectivamente nas temperaturas de 400° C e 500°C, como mostra a Figura 4.

Figura 4- Rendimento da pirólise de lodo seco em diferentes temperaturas com taxa de aquecimento lenta.



Fonte: Autor (2019)

#### 4 CONCLUSÕES

As normatizações para determinação de cinzas e material volátil pela ASTM mostrou menor variância que pela ABNT, garantindo que o método utilizado no experimento tenha repetibilidade e o menor erro possível. O teste de variância ANOVA apontou que há diferença significativa para os métodos de determinação de matéria volátil, em contrapartida os métodos para determinação de cinzas não há diferenças significativas.

A caracterização imediata do lodo de indústria de papel apresenta alto teor de matéria volátil (51,54 %) e teor de cinzas (39,57 %), reduzindo o carbono fixo disponível (8,897 %).

Para obter o melhor rendimento de geração de líquidos (19,19 %), o reator deve ser operado a 500 °C, para o melhor rendimento de formação de gases (18,66 %), a temperatura deve ser ajustada para 800 °C e para uma maior produção de carvão, a temperatura a ser utilizada é de 400 °C, que logrou 78,12 % de rendimento.

As metodologias utilizadas nesse trabalho são para determinações de carvão mineral (ABNT) e carvão e coque (ASTM), portanto, adaptadas para o lodo seco. A falta de uma metodologia específica que trate das características e composição bio-físico-químicas do lodo pode acarretar dados imprecisos e não confiáveis.

Quanto a disposição final, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos tem em seus objetivos e instrumentos, que podem ser utilizados como incentivo fiscal (Art.8, inciso IX), uma vez determinada a viabilidade da pirólise para obtenção de subprodutos de valor agregado.

## 5 REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16586: Determinação do Teor de Cinzas**. Rio de Janeiro. 2017.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16587: Determinação do teor de matérias voláteis**. Rio de Janeiro. 2017.

ALI, M.; SREEKRISHNAN, T. R. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. **Advances in Environmental Research**, n. 5, p. 175-196, 2001. ISSN 10937927.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **D3175 – 18 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke**. Annual Book of ASTM: [s.n.], 2018.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS.. **D2415 – 15 - Standard Test Method for Ash in Coal Tar and Pitch**. Annual Book of ASTM Standards: [s.n.], 2015.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS.. **D3173/D3173M – 17a Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke**. Annual Book of ASTM: [s.n.], 2017.

BRAGA, B. **Introdução a Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; e dá outras providências.**, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 11 de Maio de 2019.

BRASIL. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2012.

BRASIL. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SEGMENTOS INDUSTRIAIS SELECIONADOS**. Ministério de Minas e Energia. Brasília. 2018a.

BRASIL. População brasileira ultrapassa 208 milhões de pessoas, revela IBGE. **Governo do Brasil - Cidadania e inclusão**, 2018b. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/cidadania-e-inclusao/2018/08/populacao-brasileira-ultrapassa-208-milhoes-de-pessoas-revela-ibge>>. Acesso em: 12 de Maio de 2019.

BRASIL. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 12 de Maio de 2019.

BURUBERRI, L. H.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A. Preparation of clinker from paper pulp industry wastes. **Journal of Hazardous Materials**, n. 286, p. 252-260, 2015. ISSN 0304-3894.

EK, M.; HENRIKSSON, G.; GELLERSTEDT, G. **Pulp and paper chemistry and technology. Wood Chemistry and Wood Biotechnology**. Berlin: Walter De Gruyter, v. II, 2009.

EKSTRAND, E.-M. et al. Methane potentials of the Swedish pulp and paper industry - A screening of wastewater effluents. **Applied Energy**, n. 112, p. 507-517, 2013. ISSN 0306-2619.

ESKELINEN, K. et al. Removal of recalcitrant contaminants from bleaching effluents in pulp and paper mills using ultrasonic irradiation and Fenton-like oxidation, electrochemical treatment, and/or chemical precipitation: A comparative study. **Desalination**, n. 255, p. 179-187, 2010. ISSN 0011-9164.

EZEH, A. C.; BONGAARTS, J.; MBERU, B. **Global population trends and policy options**. Nairobi: Population and Health Research, 2012.

FOELKEL, C. Utilização dos Conceitos da Ecoeficiência na Gestão do Consumo de Água e da Geração de Efluentes Hídricos no Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto. **Eucalyptus Online Book**, 2011. Disponível em:

<[http://www.eucalyptus.com.br/eucalptos/PT23\\_AguasEfluentes.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucalptos/PT23_AguasEfluentes.pdf)>. Acesso em: 27 de Maio de 2019.

FRAGOSO, I. OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTECÍVEIS A PARTIR DO RESÍDUO DE UMA INDÚSTRIA DE PAPELÃO. **IX JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**, Chapecó - SC, v. I, n. 9, 2019. ISSN 2526-205x.

FREITAS, A. C. et al. Biological treatment of the effluent from a bleached kraft pulp mill using basidiomycete and zygomycete fungi. **Science of the Total Environment**, n. 407, p. 3282-3289, 2009. ISSN 1879-1026.

GUEDES, C. L. B. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786, et tal, 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgostos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

KALLAS, J.; MUNTER, R. POST-TREATMENT OF PULP AND PAPER INDUSTRY WASTEWATERS USING OXIDATION AND ADSORPTION PROCESSES. **Water Science & Technology**, Londres, v. 29, n. 5-6, p. 259-272, 1994. ISSN 0273-1223.

KAMALI, M.; KHODAPARAST, Z. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, n. 114, p. 326-342, 2015. ISSN 0147-6513.

LEAL, E. R. M. **Aplicação do processo de pirólise lenta ao lodo de esgoto adicionado de**. Palmas: Universidade Federal do Tocantins, 2010.

LIN, F. S.; CHANG, T. S.; REI, M. H. Rapid Pyrolysis of Rice Hull in Curie-Point Pyrolyzer. **Agricultural Wastes**, v. 18, p. 103-121, 1986.

LIN, H. et al. A review on anaerobic membrane bioreactors: Applications, membrane fouling and future perspectives. **Desalination**, n. 314, p. 169-188, 2013. ISSN 0011-9164.

MARTIN, C. Indústria de celulose e papel registra contínuas reduções de consumo de água. **Revista O Papel**, 2015. Disponível em:

<[http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1431694055\\_a5bf8c6f7cb9289b18a5e323b7d253d7\\_80025078.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1431694055_a5bf8c6f7cb9289b18a5e323b7d253d7_80025078.pdf)>. Acesso em: 27 de Maio de 2019.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2003.

MONTE, M. C. et al. Waste management from pulp and paper production in the European Union. **Waste Management**, n. 29, p. 293-308, 2009. ISSN 0956-053X.

ROCHA, J. D.; PÉREZ, J. M. M.; CORTEZ, L. A. B. **Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa, curso internacional "Energia na Indústria de Açúcar e Alcool"**. Itajubá: UNIFEI, 2004.

SANTOS, M. O.; ALMADA-LOBO, B. Integrated pulp and paper mill planning and scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, n. 63, p. 1-12, 2012. ISSN 0360-8352.

SOUCY, J. et al. CHEMICAL COMPOSITION AND SURFACE PROPERTIES OF PAPER MILL SLUDGE AND THEIR IMPACT ON HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) COMPOSITES. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, n. 36, p. 77-93, 2015. ISSN 0277-3813.

SVENSSON, E.; BERNTSSON, T. The effect of long lead times for planning of energy efficiency and biorefinery technologies at a pulp mill. **Renewable Energy**, n. 61, p. 12-16, 2014. ISSN 0960-1481.

THOMPSON, G. et al. The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. **Bioresource Technology**, n. 77, p. 275-286, 2000. ISSN 0960-8524.

WEINER, R. F.; MATTHEWS, R. **Environmental Engineering**. 4. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.