



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM
ENGENHARIA AMBIENTAL

EVANUZIA MIRANDA DA SILVA

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO
CARVÃO DE SERRAGEM COMO ADSORVENTE PARA
PURIFICAÇÃO DE ÁGUA**

Palmas/TO
2018

EVANUZIA MIRANDA DA SILVA

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO
CARVÃO DE SERRAGEM COMO ADSORVENTE PARA
PURIFICAÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Dr Emerson Adriano Guarda
Coorientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

Palmas/TO
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S586o Silva, Evanuzia Miranda da.

Obtenção, caracterização e utilização do carvão de serragem como adsorvente para purificação de água. / Evanuzia Miranda da Silva. – Palmas, TO, 2018.

81 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2018.

Orientador: Emerson Adriano Guarda

Coorientador: Marcelo Mendes Pedroza

1. Carvão ativado. 2. Serragem. 3. Adsorção. 4. Purificação de Água. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

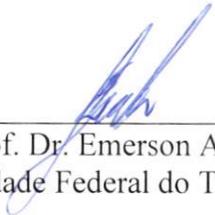
FOLHA DE APROVAÇÃO

EVANUZIA MIRANDA DA SILVA

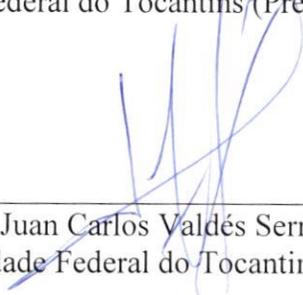
OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO CARVÃO DE SERRAGEM COMO ADSORVENTE PARA PURIFICAÇÃO DE ÁGUA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

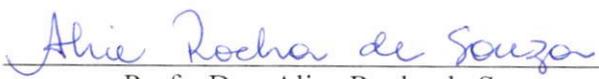
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Emerson Adriano Guarda
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra
Universidade Federal do Tocantins



Profa. Dra. Alice Rocha de Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Aprovada em: 26 de outubro de 2018
Local de defesa: Sala 201 do bloco J
Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

*A minha família, em especial ao meu esposo
que sempre esteve ao meu lado incentivando e
me dando força para continuar.*

*As oportunidades normalmente apresentam
disfarçadas de trabalho árduo e é por isso que
muitos não as reconhecem.*
Ann Landers

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por seu amor infinito e por ter dado esta oportunidade a mim. Por ser a luz que me conduz, por toda a sabedoria e paciência dada nas horas em que precisei. Sem Ele, não conseguiria atingir meus objetivos.

Ao meu esposo Moisés, pelo amor e confiança que depositou em mim, pela amizade, conselhos e, por acima de tudo, ter acreditado que eu seria capaz mesmo quando eu duvidava.

Ao meu orientador, Professor Dr. Emerson Adriano Guarda, pela instrução e exemplo de profissionalismo, pela ajuda e paciência necessárias para a conclusão deste trabalho.

Ao coorientador, Professor Dr. Marcelo Mendes Pedroza, por ser além de um professor, um amigo. Pelas sábias orientações, por seu amor em tudo que faz e pela confiança depositada em meu trabalho.

Aos professores Giuliano Guimarães Silva, Sérgio Carlos Bernardo Queiroz, Elaine Paz e Michelle Ludmila pelas sugestões e esclarecimentos. Sempre que precisei, me ajudaram.

RESUMO

A serragem de madeira é um produto proveniente do uso da madeira, que pode ter aproveitamento econômico, transformando-se e agregando valor a cadeia produtiva da madeira. Uma de suas aplicações pode ser a produção de carvão e bio-óleo. O carvão ativado tem um custo elevado, porém é uma opção que apresenta potencial de adsorção e remoção de cianotoxinas e matéria orgânica presentes em água de abastecimento. O objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade do carvão de serragem e seu potencial para ser aplicado em sistema de purificação de água, através de parâmetros físico/químicos. A serragem foi caracterizada conforme sua composição química, quanto ao teor de lignina, (38%); Hemicelulose (17,8%), holocelulose (53,9%), análises elementar: Carbono (48,3%), Hidrogênio (5,09%), Nitrogênio (0,25%), Oxigênio (46,36%) e imediatas: Cinzas (0,19%), Umidade (4,52%), Material Volátil (90,39%) e carbono fixo (4,9%) para ser utilizada como matéria prima na produção de carvão em reator de leito fixo. As variáveis utilizadas para obtenção do melhor rendimento dos produtos foram: temperatura, taxa de aquecimento, tempo e vazão do gás, de acordo com o planejamento fatorial 2^{4-1} . Além da produção, a qualidade do carvão foi verificada por meio de análise imediata: Cinzas (3,42%), Umidade (2,29%), Material volátil (41,04%) e carbono fixo (53,04%). Análise elementar: Carbono (74,36%), Hidrogênio (2,96%), Nitrogênio (0,55%) e oxigênio (22,13%). As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), Índice de Azul de Metileno e BET que mostraram que o carvão consiste de microporos com uma área superficial de 1,43819 m²/g evidenciando a existência e a qualidade dos poros presentes no carvão. A eficiência na remoção de matéria orgânica presente na água, foi avaliada utilizando-se filtros descendentes com o carvão obtido. Características físico-químicas e microbiológica da amostra de água foram avaliadas antes e após a filtração. Notou-se que o tempo de saturação do carvão de serragem aconteceu após 10 horas de funcionamento dos filtros, sendo que a maior eficiência na remoção de matéria orgânica ocorreu nas primeiras 3 horas.

Palavras chaves: Carvão ativado. Serragem, Adsorção, Purificação de Água.

ABSTRACT

Sawdust is a product derived from the use of wood, which can be used economically, transforming and adding value to the productive chain of wood. One of its applications may be the production of coal and bio-oil. Activated carbon has a high cost, but it is an option that presents potential of adsorption and removal of cyanotoxins and organic matter present in water supply. The objective of this work was to analyze the quality of sawdust and its potential to be applied in a water purification system, through physical / chemical parameters. The sawdust was characterized according to its chemical composition, in terms of lignin content (38%); Hemicellulose (17.8%), holocellulose (53.9%), elemental analysis: Carbon (48.3%), Hydrogen (5.09%), Nitrogen (0.25%), Oxygen and immediate: Ash (0.19%), Moisture (4.52%), Volatile Material (90.39%) and fixed carbon (4.9%) to be used as raw material for coal production in bed reactor fixed. The variables used to obtain the best product yield were: temperature, heating rate, time and gas flow, according to factorial design 2^{4-1} . In addition to the production, coal quality was verified through immediate analysis: Ash (3.42%), Moisture (2,29%), Volatile material (41.04%) and fixed carbon (53.04%). Elemental analysis: Carbon (74.36%), Hydrogen (2.96%), Nitrogen (0.55%) and oxygen (22.13%). The scanning electron microscopy (SEM), Methylene Blue Index and BET analyzes showed that the coal consists of micropores with a surface area of $1.43819 \text{ m}^2 / \text{g}$ evidencing the existence and the quality of the pores present in the coal. The efficiency of removal of organic matter present in the water was evaluated using downstream filters with the obtained carbon. Physical-chemical and microbiological characteristics of the water sample were evaluated before and after filtration. It was observed that the saturation time of sawdust occurred after 10 hours of filter operation, and the highest efficiency in the removal of organic matter occurred in the first 3 hours.

Key-words: Activated charcoal. Sawdust. Adsorption. water purification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Evolução metodológica aplicada na pesquisa.....	19
Figura 2 -	Serragem de Angelim Pedra.....	20
Figura 3-	Determinação da Densidade Aparente da serragem de madeira.....	22
Figura 4 -	Sistema de pirólise	25
Figura 5 -	Pesagem da biomassa e Briquetes confeccionado	28
Figura 6 -	Reator de leito fixo e Carvão.....	29
Figura 7 -	Sistema jarrest com coluna de filtros.....	32
Figura 8 -	Árvore de Angelim Pedra.....	34
Figura 9 -	Características da Árvore Angelim Pedra.....	36
Figura 10 -	Representação anatômica do tronco de uma árvore.....	37
Figura 11 -	Mapa com localização de maior incidência do Angelim pedra.....	38
Figura 12 -	Diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma.....	46
Figura 13 -	Sistema de Tratamento de Água - ciclo completo.....	50
Figura 14 -	Cinética de secagem a 40° C.....	52
Figura 15 -	Cinética de secagem a 50° C.....	53
Figura 16 -	Microfotografia (a) e (b) da serragem com ampliação de 250 e 500 vezes.....	58
Figura 17 -	Microfotografia da serragem de angelim pedra	58
Figura 18 -	Curva de degradação termogravimétrica da serragem de angelim pedra.....	59
Figura 19 -	Representação do Diagrama de Pareto obtido do planejamento fatorial 2^{4-1} para a obtenção de carvão a partir da pirólise de serragem.	62
Figura 20 -	Microfotografia do carvão de serragem de angelim pedra com ampliação de x200.....	66
Figura 21 -	Microfotografia do carvão com ampliação de 2.0K e x500.....	67
Figura 22 -	Isotermas Freundlich para adsorção de azul de metileno.....	69
Figura 23 -	Isoterma de Langmuir para adsorção de azul de metileno.....	69
Figura 24 -	Representação dos filtros de carvão comercial e de serragem.....	71
Figura 25 -	Amostra de carvão comercial e carvão vegetal em balão volumétrico..	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normas utilizadas nas determinações das características físico-química da biomassa e do carvão de serragem.....	20
Tabela 2 - Fatores e níveis empregados no planejamento experimental 2^{4-1}	26
Tabela 3 - Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial 2^{4-1}	26
Tabela 4 - Condições do planejamento experimental e do ponto central.....	27
Tabela 5 - Metodologias usadas para caracterizar a água bruta.....	30
Tabela 6 - Características dos carvões usados nos filtros.....	31
Tabela 7 - Classificação Taxonômica do Angelim pedra.....	35
Tabela 8 - Composição Química da Madeira Angelim pedra em %.....	36
Tabela 9 - Principais polos madeireiros da Amazônia Legal em 2009.....	40
Tabela 10 - Estimativa da quantidade de resíduos de madeira gerado no Brasil.....	41
Tabela 11 - Variantes do processo de pirólise.....	42
Tabela 12 - Biomassas utilizadas para produção de carvão.....	44
Tabela 13 - Estudos com carvão vegetal e ativado.....	46
Tabela 14 - Capacidade de adsorção de diferentes tipos de biomassa.....	48
Tabela 15 - Resultados da análise de pH da biomassa da serragem de angelim pedra e de outros autores.....	51
Tabela 16 - Resultados da análise da densidade aparente da serragem.....	54
Tabela 17 - Resultados das análises imediata da biomassa da serragem.....	54
Tabela 18 - Resultados das análises de composição química da biomassa da serragem de angelim pedra e de outros autores.....	56
Tabela 19 - Resultados da análise elementar da serragem.....	57
Tabela 20 - Resultados do Planejamento 2^{4-1} obtidos para as frações sólida e líquida durante a pirólise de serragem em reator de leito fixo.....	61
Tabela 21 - Resultado da análise da pH do carvão de serragem.....	63
Tabela 22 - Resultado da densidade aparente do carvão de serragem.....	63
Tabela 23 - Resultado da análise imediata do carvão de serragem.....	64
Tabela 24 - Análise elementar do carvão de serragem e outras madeiras.....	65
Tabela 25 - Área superficial, distribuição e volume dos poros.....	66
Tabela 26 - Valores de Carbono Orgânico no carvão de serragem e de outro estudo.....	67
Tabela 27 - Resultado da caracterização da água bruta.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATG	Análise Termogravimétrica
BET/N2	Brunauer Emmett e Teller (Modelo de Adsorção)
CAP	Carvão Ativado Pulverizado
CF	Carbono Fixo
CNH	Carbono Fixo, Hidrogênio e Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
COT	Carbono Orgânico Total
ETA	Estação de Tratamento de Água
JIS	Japonise Industrial Standard
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PCS	Poder Calorífico Superior
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivos geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Coleta e Preparo da Amostra.....	19
3.2	Caracterização da Biomassa.....	21
3.2.1	Análise de Lignina, Celulose e Hemicelulose.....	21
3.2.2	Densidade Aparente.....	21
3.2.3	pH.....	22
3.2.4	Análise Imediata.....	22
3.2.4.1	<i>Umidade</i>	22
3.2.4.2	<i>Material Volátil</i>	23
3.2.4.3	<i>Cinzas</i>	23
3.2.4.4	<i>Carbono Fixo</i>	24
3.2.5	Análise Elementar (CNH).....	24
3.2.6	Cinética de secagem da Serragem.....	24
3.2.7	Microscopia Eletrônica De Varredura.....	24
3.2.8	Análise Termogravimétrica (TG).....	25
3.3	Produção do Carvão.....	25
3.3.1	Planejamento Experimental para Obtenção do Carvão de Serragem.....	25
3.3.2	Planejamento Experimental do Ponto Central	27
3.3.3	Pirólise em Reator de Leito Fixo.....	27
3.3.4	Elaboração de Briquetes da Biomassa de Serragem.....	27
3.3.5	Carvão.....	28
3.4	Caracterização do Carvão.....	29
3.4.1	Análise Elementar e Imediata do Carvão produzido.....	29
3.4.2	Testes De Adsorção.....	30
3.4.3	Caracterização da Água Bruta.....	30

3.4.4	Ensaio de Bancada Com Carvão de Serragem e Carvão Comercial.....	31
3.4.5	Ensaio De Bancada Em Filtro Descendente.....	31
3.5	Análise de Absorbância.....	32
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	
4.1	Resíduos Sólidos.....	33
4.2	Caracterização quanto a Origem e Morfologia do Angelim Pedra....	34
4.3	Área de predominância de Madeira Angelim Pedra.....	38
4.4	Serragem.....	38
4.5	Aproveitamento dos resíduos de serragem.....	40
4.6	Pirólise.....	42
4.7	Carvão.....	43
4.8	Adsorção.....	47
4.9	Tratamento De Água.....	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1	Caracterização da Biomassa.....	51
5.1.1	pH da Biomassa.....	51
5.1.2	Cinética de Perda de Massa da Biomassa.....	52
5.1.3	Densidade Aparente.....	53
5.1.4	Caracterização da Biomassa Por Meio das Análise Imediatas.....	54
5.1.5	Composição química da Serragem.....	56
5.1.6	Análise Elementar (CNH).....	57
5.1.7	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	58
5.1.8	Análise Termogravimétrica (TG).....	59
5.2	Rendimento das Frações Obtidas Durante a Pirólise de Serragem...	60
5.3	Caracterização do Carvão.....	62
5.3.1	pH.....	62
5.3.2	Densidade Aparente do Carvão.....	63
5.3.3	Análise Imediata.....	64
5.3.4	Análise Elementar (CNH).....	64
5.3.5	Análise da Área Superficial (BET/N ₂).....	65
5.3.6	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	66

5.3.7	Determinação de Carbono Orgânico Total (COT).....	67
5.3.8	Índice de Azul de Metileno.....	68
5.4	Resultados dos Testes de Filtração em Bancada com os filtros de carvão de Serragem e Comercial.....	70
5.4.1	Resultado da Caracterização da Água bruta.....	70
5.4.2	Resultados das Análises de Absorbância da água filtrada.....	71
6	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

A grande quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) que é gerada pelo comércio, pelas indústrias e sociedade de modo geral, tem despertado interesse de pesquisadores que buscam alternativas para o seu melhor aproveitamento.

De acordo com os dados fornecidos pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) a quantidade de RSU gerados no Brasil, em 2015, foi cerca de 79,9 milhões de toneladas, e em 2016 foi de 78,3 milhões de toneladas, tendo uma queda de 2,04%. No ano de 2016, 17, 4% do resíduo coletado teve destinação final inadequada (ABRELPE, 2016).

Diferente dos resíduos sólidos urbanos em que a coleta é de responsabilidade do gestor público, os resíduos industriais são de responsabilidade de quem gera. Assim as indústrias precisam apresentar um projeto de gerenciamento de seus resíduos com intuito de minimizar os impactos ambientais. São poucas as empresas que fazem este projeto, além disso, há as empresas informais que também geram resíduos sem preocupação com sua disposição final, comprometendo a destinação final adequada dos resíduos (KOZAK *et al.*, 2008).

A serragem é um subproduto proveniente da indústria madeireira, abundante, que também pode ter seu valor econômico agregado, bastando transformá-la em um produto que tenha valor comercial, como mostram os estudos de autores como Arruda *et al.*, (2012) que viu na serragem uma alternativa para substituir a areia para confeccionar blocos e tijolos; Antunes *et al.*, (2010) que estudou o potencial da serragem de madeira como adsorvente de baixo custo para a remoção do corante Direct Green 26, e Monaco *et al.*, (2004) que estudaram a serragem *in natura* para fins de tratamento de águas residuárias.

Somando as florestas naturais e plantadas, em 2015 o Brasil possuía aproximadamente 59% de seu território coberto por vegetação (FAO, 2015). Por ser um país que possui uma vasta área territorial com florestas e com investimentos nas plantações de eucaliptos e madeiras de Lei, o país é um grande extrator de madeiras, possuindo inúmeras indústrias madeireiras que trabalham na fabricação de móveis e demais subprodutos (ACR, 2016).

Nota-se que o Brasil é um país que explora a madeira em diversas regiões, sendo árvores nativas ou plantadas. A região amazônica é a que mais se explora devido á quantidade de floresta existente na região. O estado do Tocantins, inserido na Amazônia Legal, junto com outros estados limítrofes, tem na extração da madeira uma atividade importante na economia regional. A comercialização de madeira *in natura* e de móveis é comum em diversas cidades do estado. Com isso, há uma vasta quantidade de serrarias que produzem resíduos. A

serragem da região, assim como nos grandes centros industriais, tem pouca utilização, sendo, na maioria das vezes, desprezada no meio ambiente. (HUMMEL *et al.*, 2010).

A exploração e comercialização de madeiras, como a de Angelim Pedra é comum na região amazônica, visto que é nativa e tem aceitação comercial diversificada, sendo utilizada com frequência na construção civil e fabricação de móveis, manipulações que produz serragem e outros resíduos madeireiros (SANTOS, 2011).

A serragem é gerada pelo processo da manipulação da madeira através da usinagem com serras. Em uma serraria que trabalha apenas com eucalipto, gera-se em média, 78 toneladas de serragem ao mês, o qual se aproveita pouca quantidade, sendo descartada a maior parte do resíduo. Com isso, despreza-se um grande quantitativo de matéria prima que poderia ser direcionada para fins que possam gerar lucro (COUTO, 2009).

Por ser de granulometria pequena e pouco aproveitada, verifica-se a necessidade de desenvolver tecnologias apropriadas para um melhor aproveitamento desta biomassa e evitar problemas ambientais devido ao seu acúmulo desordenado no meio ambiente (RODRIGUES, 2013).

Alternativas como: produção de carvão para remoção de corante, cloro e matéria orgânica presente em água, em tratamento de águas residuárias podem ser vistas como boas opções para o aproveitamento da serragem *in natura* ou processada. Visto que a disponibilidade de água de qualidade reduziu devido a ações antrópicas.

A água está cada vez mais escassa. Sabe-se que ao longo dos últimos anos muitos lugares têm sofrido com sua indisponibilidade para abastecimento. Isto se deve ao aumento populacional e à diminuição dos mananciais capazes de oferecerem água de qualidade para o abastecimento humano. Assim, a busca por alternativas para o tratamento da água de abastecimento é cada vez mais necessária (OLIVEIRA, 2007).

Há uma tecnologia específica para cada tipo de água bruta a ser tratada, por isso, os sistemas de tratamento de água variam conforme as características da água a ser tratada, (DI BERNARDO, DANTAS, VOLTAN 2017).

O carvão ativado tem sido proposto como uma alternativa em estações de tratamento de águas (ETAs) para consumo humano, em tratamento de água industriais e nas estações de tratamento de esgotos (ETEs), sendo utilizado para remoção de matéria orgânica, cor e odor, bem como na purificação e clarificação da água (CARVALHO e VIEIRA, 2011).

Buscar matéria prima para diminuir custo no tratamento de água e contribuir na redução de resíduos sólidos destinados aos aterros sanitários são passos importantes para melhorar as condições ambientais e socioeconômicas de uma região.

Pensando em agregar valor a um resíduo e sugerindo alternativas de utilização dos subprodutos da madeira, viu-se como uma opção, a produção de carvão e possível aplicação no tratamento de água, devido a demanda de consumo e sua escassez.

O objeto de estudo deste trabalho, é estudar a utilização de serragem de madeira para produção de carvão de baixo custo, para remoção de matéria orgânica da água, dando a esta biomassa uma destinação de maior valor agregado e diminuindo os impactos advindos de sua disposição no meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a qualidade do carvão de serragem de angelim pedra e seu potencial para remoção de matéria orgânica em água.

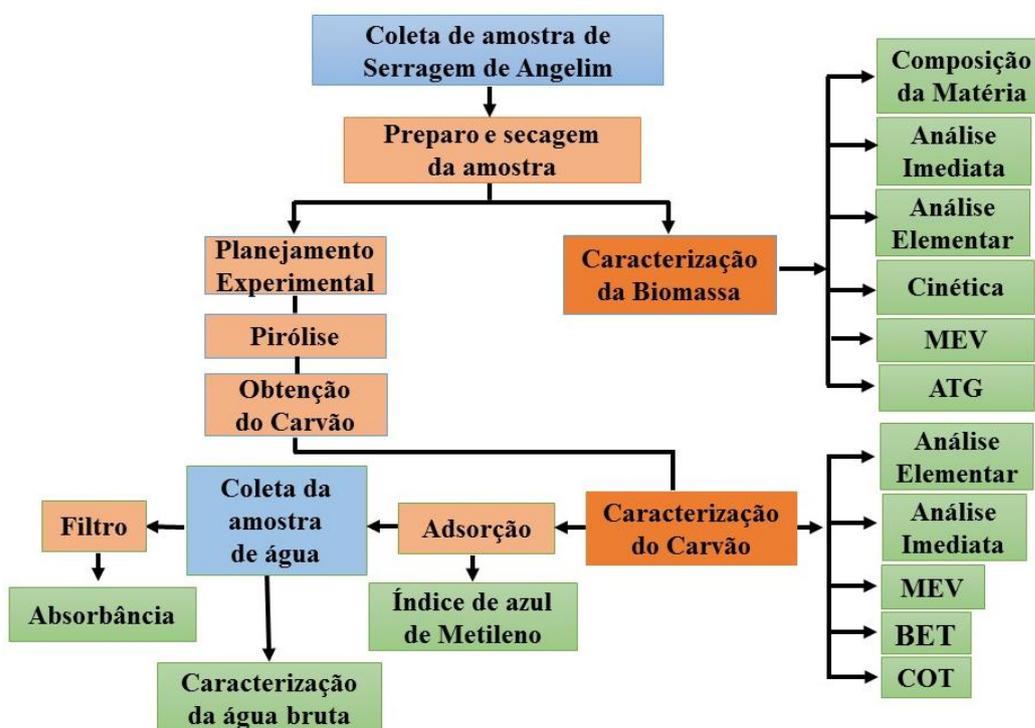
2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar a serragem de angelim pedra;
2. Produzir carvão de serragem por meio de pirólise em reator de leito fixo;
3. Caracterizar o carvão produzido;
4. Utilizar o carvão em filtro experimental e comparar sua eficiência com o carvão comercial para remoção de matéria orgânica em amostras de água bruta e verificar sua funcionalidade.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido nos Laboratórios da Área de Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, em parceria com o Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (LAPEQ) da Universidade Federal do Tocantins. A Figura 1 apresenta esquematicamente a evolução metodológica dos procedimentos realizados para caracterizar a serragem in natura e análises do carvão produzido.

Figura 1 - Evolução metodológica aplicada na pesquisa.



Fonte: Autora (2018)

3.1 Coleta e Preparo da Amostra

As amostras de serragem foram coletadas em uma serraria da Cidade de Palmas, Estado do Tocantins, a qual foi encaminhada para o Laboratório da área de Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas. Em seguida, submetida a um processo de secagem a temperatura de 40 ° C por um período de 24 horas em uma estufa de marca Thoth, modelo Th-520- 150. Após a secagem estabeleceu-se a granulometria em uma peneira de mesh 14.0 conforme Figura 2.

Figura 2 - Serragem de Angelim Pedra



Fonte: Autora (2018)

Toda amostra foi peneirada manualmente em peneira com granulometria de mesh 14.0 conforme (ABNT 30, Tyler 28), assim, garantindo a homogeneidade da biomassa para realizar os procedimentos analíticos, conforme proposta das normas adotadas para caracterização da serragem.

Na Tabela 1 estão as normas utilizadas nas determinações das características físico-química da biomassa e do carvão.

Tabela 1 - Normas utilizadas nas determinações das características físico-química da biomassa e do carvão de serragem.

Variáveis	Normas	
	Biomassa	Carvão
pH	-	Norma JIS K1474
Teor de Umidade (%)	ASTM D 2415-66 (Pedroza, 2011)	ASTM D 2415-66 (Pedroza, 2011)
Densidade Aparente	NBR 12076/1991 (Valcarenhi, Ribeiro, 2013).	NBR 12076/1991 (Valcarenhi, Ribeiro, 2013).
Cinética	-	-
Material Volátil e Cinzas	Método ASTM D 2415-66 (Sánchez <i>et al.</i> , 2009)	Método ASTM D 2415-66 (Sánchez <i>et al.</i> , 2009)
Carbono Fixo	Norma ABNT NBR 829-1983	Norma ABNT NBR 829-1983
Lignina, Celulose, Hemicelulose.	“KLASON” de acordo com Silva; Queiroz (2002)	-
Poder Calorífico	Norma NBR 8633 (ABNT,	-

	1984)	
Análise elementar	Norma ASTM D 5373 (ASTM, 2002)	Norma ASTM D 5373 (ASTM, 2002)
Análise TGA	-	-
MEV	-	-
Índice de azul de metileno	-	Norma JIS K 1474
Área Superficial	-	Método BET, (1938)

Fonte: Autora (2018)

3.2 Caracterização da Biomassa

3.2.1 Análise de Lignina, Celulose e Hemicelulose

Na determinação dos teores de lignina, celulose e hemicelulose da amostra de serragem *in natura* foi adotado o método de “KLASON” conforme descrição de Moraes, Rosa e Marconcini (2010). O método “KLASON” ocorre em 3 etapas, primeiro, realiza extração do teor de extrativo da biomassa com acetona, em seguida, utilizando solução de ácido sulfúrico a 72% para análise de lignina e hidróxido de sódio a 17% para determinação de celulose.

3.2.2 Densidade Aparente

A densidade aparente da serragem foi estabelecida conforme o princípio da relação entre a massa e o volume da amostra. Sendo assim, utilizou-se a NBR 12076/1991 de acordo com os autores Valcarenhi e Ribeiro (2013). A análise foi iniciada secando a amostra de serragem em pó por um período de 3 horas em estufa a temperatura de $130 \pm 5^\circ\text{C}$.

Após o resfriamento da proveta e da amostra que foi colocada em estufa para retirada da umidade, a massa da proveta foi determinada e seu valor anotado. Com auxílio de um funil, a serragem foi colocada até a marca de 100 ml (100 cm³) da proveta, como ilustrado na Figura 3, para determinar sua massa. O valor medido foi subtraído pela massa da proveta para obter a massa do pó de serragem. Em seguida o fundo da proveta foi batido em superfície de madeira até a compactação do volume do pó de serragem, tendo o volume correspondente ao nível ocupado pelo pó de serragem em (ml). A densidade é determinada pela Equação 1.

Figura 3 - Determinação da Densidade Aparente da serragem de madeira



Fonte: Autora (2018)

$$D = (P2 - P1) / V$$

Equação. 1

Onde:

D = Densidade aparente (g/mL ou g/cm³)

P1 = massa da proveta (g)

P2 = massa da serragem somada com a massa da proveta (g).

V = volume determinado após a compactação da serragem (mL ou cm³).

3.2.3 pH

O pH da biomassa foi determinado de acordo com a norma JIS K1474. O procedimento consistiu em adicionar a um elermeyer de 200 mL, 1 g de carvão e 100 mL de água deionizada. A qual foi aquecida e ficou em ebulição por 5 minutos, após resfriar a temperatura ambiente, adicionou-se 100mL de água deionizada e em seguida mediu-se o pH da solução com um medidor de pH da marca Orion Star, modelo A201.

3.2.4 Análise Imediata

3.2.4.1 Umidade

Para a determinação do teor de umidade seguiu-se a norma ASTM D 2867/2004, de acordo com o trabalho de Valcarenhi e Ribeiro (2013), conforme descrito abaixo:

Os cadinhos foram preparados e previamente secos em estufa por uma hora, após resfriamento em dessecador por 15 minutos foram pesados em uma balança analítica, definindo seu peso e o da biomassa, que foi de 1g, a qual foi levada à uma estufa com temperatura de 110°C por um período de 1 hora. Em seguida, o cadinho foi para um

dessecador por 10 minutos para ser pesado novamente. O teor de umidade foi determinado pela equação 2:

$$\% \text{ Umidade} = [(P1 + P0) - P2] / P0] \times 100\% \quad \text{Equação.2}$$

Onde:

P1 = peso do cadinho

P2 = peso do cadinho + amostra após o aquecimento na estufa

P0 = peso da amostra

3.2.4.2 Material Volátil

O teor de material volátil foi determinado segundo o método sugerido por Sánchez *et al.*, (2009). Pesou-se aproximadamente 1g de biomassa em cadinhos de porcelana que na sequência foram aquecidos em uma mufla à temperatura de 900°C, na ausência de oxigênio por um período de 20 minutos. O teor de material volátil foi determinado pela equação 3.

$$\% \text{ Material Volátil} = [(P+P0) - P3] / P0] \times 100\% \quad \text{Equação.3}$$

Onde:

P = peso do cadinho vazio

P0 = peso da amostra inicial

P3 = peso do cadinho + amostra final

3.2.4.3 Cinzas

A determinação do teor de cinzas segue a ASTM D 2415-66 (Figueiredo, 2011). Pesou-se aproximadamente 1g de biomassa em cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. Em seguida foram submetidos a uma temperatura de 915° C, por 30 minutos, em mufla de marca *Coel* modelo *Hm*, na presença de oxigênio. Na sequência o cadinho foi colocado em dessecador, após uma hora, pesou para determinar o teor de cinzas, a qual foi obtida através da equação 4:

$$\% \text{ Cinzas} = [(P1- P2) /P0] \times 100\% \quad \text{Equação.4}$$

Onde:

P1 = peso do cadinho + amostra

P2 = peso do cadinho + amostra após o aquecimento na presença de oxigênio

$P_0 =$ peso da amostra

3.2.4.4 Carbono Fixo

Para a determinação do teor de carbono fixo (% CF), foram adotados os procedimentos da Norma ABNT NBR 829-1983. Os cálculos foram feitos por diferença dos percentuais obtidos das análises de umidade, cinzas e material volátil, conforme a equação 5:

$$\% CF = 100 - (\% Umidade + \% Cinzas + \% Material volátil) \quad \text{Equação.5}$$

3.2.5 Análise Elementar (CNH)

Para avaliar a presença de Carbono fixo, hidrogênio e nitrogênio utilizou a Norma ASTM D 5373. As amostras de serragem *in natura* foram avaliadas em um analisador elementar Perkin - Elmer CHNS/O 2400 série II com o intuito de determinar os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio da biomassa.

3.2.6 Cinética de secagem da Serragem

A cinética de perda de massa da serragem foi obtida por meio do aquecimento da biomassa em temperatura de 40°C e 50°C em estufas SP-200 por um período de 24 horas observando-se a massa de água e voláteis perdidas em relação ao tempo de pesagem. Este experimento foi feito em triplicata, conforme a sequência a seguir.

Os cadinhos foram levados a estufa a 105°C por uma hora, e transferidos para um dessecador que ficou resfriando por 15 minutos, seu peso foi aferido em balança analítica, e em seguida, pesou-se um grama de biomassa em cada cadinho. As amostras foram para estufas, sendo uma com 40°C e outra a 50°C, após uma hora, coloca em dessecador, deixa esfriar por 15 minutos e pesa novamente. Após ir para estufa a primeira vez, o procedimento foi realizado de hora em hora, até que a complete as 24 horas (PEDROZA, 2011).

3.2.7 Microscopia Eletrônica De Varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada para observar a morfologia do carvão através de imagens e determinar a estrutura dos poros do carvão. Esta análise foi

realizada no Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais (DEMAT), na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), utilizando o equipamento da marca Hitachi, modelo TM 3000 com ampliação de 250x e 1000x, acoplado a um espectroscópio de energia dispersa, que avalia a microestrutura externa do carvão e sua composição elementar.

3.2.8 Análise Termogravimétrica (TG)

Esta análise tem a finalidade de monitorar o perfil de estabilidade térmica da amostra, analisando a perda de massa em função da temperatura. O procedimento adotado foi de acordo com Couto (2009). A caracterização termogravimétrica- TGA foi realizada na serragem pulverizada, utilizando as taxas de aquecimento de 10 e 30°C/min. O equipamento utilizado foi o Thermogravimetric Analyser (Marca Shimadzu e Modelo TGA-50) do laboratório da Universidade Federal de Cariri- CE.

3.3 Produção do Carvão

3.3.1 Planejamento Experimental para Obtenção do Carvão de Serragem

Foi verificado através de planejamento multivariável o efeito de quatro fatores no sistema de pirólise de biomassa de serragem para produção de carvão, como mostra a Figura 4. Aplicando um planejamento experimental fracionário 2^{4-1} . Foram feitos 8 (oito) experimentos utilizando os seguintes fatores: Temperatura (° C); Taxa de aquecimento; Tempo de pirólise (min) e Vazão de gás (mL / min.), sendo que a resposta foi o rendimento do carvão obtido.

Figura 4 - Sistema de pirólise



Fonte: Adaptado de Mendes (2011)

Os domínios das faixas dos parâmetros estudados estão de acordo com Vieira *et al.*, 2009; Gómez, 2002; Kim e Parker, 2008; Shen e Zhang, (2004) e Inguanzo *et al.*, 2002. Com o planejamento experimental, utilizado na pirólise da serragem (planejamento fatorial 2^{4-1}). Onde observou os fatores respectivamente: o Fator 1 – Temperatura (°C); Fator 2 – Taxa de aquecimento (°C/min); Fator 3 – vazão de gás inerte (mL /min); Fator 4 – Tempo de pirólise. Com isso obteve o rendimento em percentual do carvão, os quais foram realizados de acordo com a ordem dos experimentos apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Fatores e níveis empregados no planejamento experimental 2^{4-1} .

Fatores	Níveis	
	Mínimo (-)	Máximo (+)
Temperatura final do processo (° C)	500	550
Taxa de aquecimento (°C/min)	10	20
Vazão de gás inerte (mL /min)	1	4
Tempo de pirólise (min.)	30	60

Fonte: Autora (2018)

Tabela 3 - Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial 2^{4-1}

Ordem dos Experimentos	Fatores			
	1	2	3	4
7	-1	+1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
5	-1	-1	+1	+1
1	-1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	+1
2	+1	-1	-1	+1
4	+1	+1	-1	-1
8	+1	+1	+1	+1

Fonte: Autora (2018)

Com os resultados do planejamento experimental foi determinado o modelo estatístico para a produção de carvão no processo, usando o Software STATISTICA. Para fins de balanço de massa, após a reação e o resfriamento da unidade de pirólise, os produtos do processo (líquido e sólido) foram coletados e pesados. O material sólido foi recuperado diretamente do reator e o líquido pirolítico, coletado após o sistema de condensação dos

vapores em funil de separação de fases. O rendimento do carvão e do líquido obtido (extrato ácido + bio-óleo) foi calculado através do balanço de massas.

3.3.2 Planejamento Experimental do Ponto Central

Esse planejamento foi realizado para observar a influência dos fatores temperatura final do processo de 525° C, taxa de aquecimento de 15°C/min. vazão de gás inerte de 2,5 mL/min, tempo de pirólise 45 minutos, sobre os níveis dos fatores empregados no planejamento experimental 2^{4-1} . Na Tabela 4 está expresso as condições de todo o planejamento experimental e do ponto central.

Tabela 4 - Condições do planejamento experimental e do ponto central

Ordem do Experimento	Condições do Planejamento Experimental			
	Temperatura (°C)	Taxa de Aquecimento (°C/min)	Vazão de gás (mL/min)	Tempo (min)
7	500	20	4	30
6	550	10	4	30
5	500	10	4	60
1	500	10	1	30
3	500	20	1	60
2	550	10	1	60
4	550	20	1	30
8	550	20	4	60
Ponto Central				
1	525	15	2,5	45
2	525	15	2,5	45
3	525	15	2,5	45

Fonte: Autora (2018)

*Min – Minuto

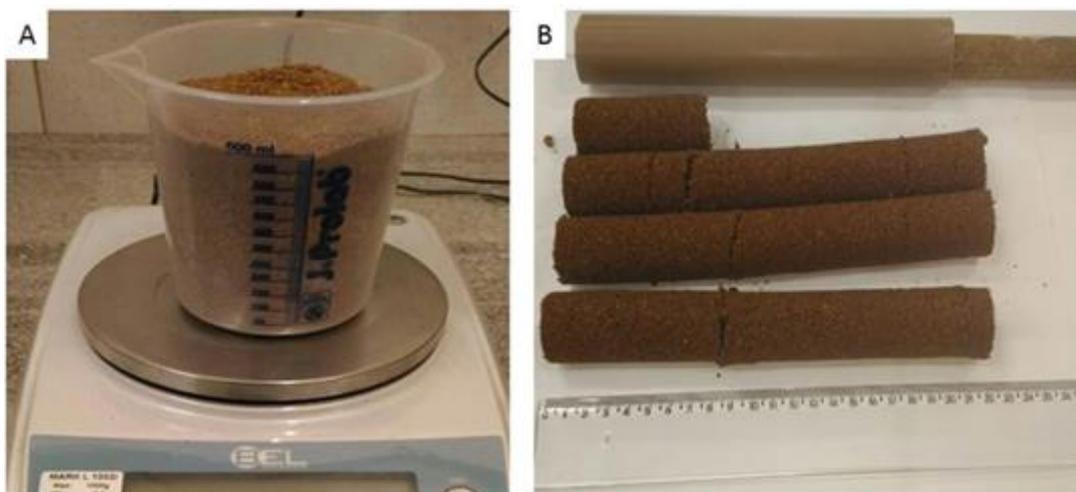
3.3.3 Pirólise em Reator de Leito Fixo

3.3.4 Elaboração de Briquetes da Biomassa de Serragem

Os briquetes foram produzidos a partir da biomassa de serragem de madeira seca e na forma de pó, pesado em uma balança de precisão usando a biomassa no volume de 600mL em um béquer de 600mL, possuindo massa de aproximadamente 145,08g. Adicionou-se a essa

biomassa, aproximadamente 190,00mL de água destilada para hidratação. Para obtenção do formato dos briquetes (imagem B), a biomassa foi prensada manualmente dentro de um tubo de PVC com diâmetro de 32 mm e 20cm de comprimento. Os briquetes obtidos foram secos em uma estufa a 40°C por 48 horas. O rendimento obtido foi de cerca de 3 briquetes para o volume de biomassa preparada, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Pesagem da biomassa e Briquetes confeccionado



Fonte: Autora (2018)

3.3.5 Carvão

A conversão térmica foi efetuada com a biomassa em forma de briquete em um reator de leito fixo bipartido de aço inox, de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm de marca FLYEVER do modelo FE50RPN, linha 05/50 com microcontrolador acoplado em um forno tubular 1200°C, no Laboratório de Meio Ambiente do Instituto federal do Tocantins – Campus Palmas.

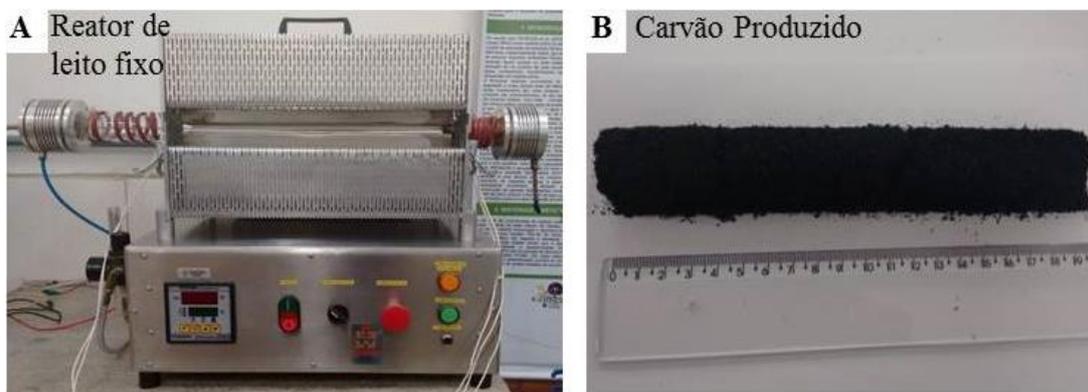
O reator de leito fixo, como mostra a Figura 6, é composto por um tubo em vidro, compartimento onde se encontra a biomassa, local que o gás de arraste passa levando os produtos (gás e bio-óleo) da pirólise para fora do leito da reação.

No processo de pirólise da biomassa de serragem o reator foi aquecido por forno bipartido reclinável com duas temperaturas (500 e 550° C), de acordo como planejamento experimental, onde o tempo de permanência dos vapores é determinado pelo fluxo de gás de arraste.

O reator de pirólise acoplado a um termopar foi inicialmente aquecido a uma temperatura de forno de 200°C. Ao termopar acusar uma temperatura interna do reator de

pirólise igual a 130°C elevou-se a temperatura do aparelho de acordo com as condições de 500°C ou 550°C, atingindo uma temperatura do tubo pirolítico de até 370°C. Os tempos de pirólises condicionados nas amostras foram de acordo com o planejamento experimental, ou seja, 30 e 60 minutos.

Figura 6 - Reator de leito fixo e Carvão



Fonte: Autora (2018)

A - Reator de Leito fixo; B - Briquete de carvão.

3.4 Caracterização do Carvão

3.4.1 Análise Elementar e Imediata do Carvão produzido

Os procedimentos metodológicos aplicados na caracterização do carvão foram os mesmos aplicados na caracterização da biomassa (item 4. 2). Os parâmetros analisados foram:

- Análise elementar;
- Análise imediata;
- Densidade aparente;
- pH;
- BET/n₂;
- Mev;
- COT;

Além destes, também utilizou os padrões da norma JIZ quanto ao índice de azul de metileno para caracterizar o carvão.

3.4.2 Testes De Adsorção

Os testes de adsorção foram realizados com corante azul de metileno, de acordo com a norma JIS K 1474 e em amostra de água rica em matéria orgânica, através de sistema de filtração.

Para a realização da análise do índice de azul de metileno utilizou-se a norma JIS K 1474 da *Japanese Industrial Standard*. A qual possibilitou a construção das Isoterma de *Langmuir* e de *Freundlich* para adsorção de azul de metileno.

3.4.3 Caracterização da Água Bruta

A água bruta foi coletada na cidade de Figueirópolis/Tocantins, e armazenada em reservatório de 500 litros. Suas características foram obtidas através de análises físico-química, e bacteriológica. As análises físico-químicas e de metais foram realizadas no LAPEQ/UFT na Universidade Federal do Tocantins/Campus Palmas. Os parâmetros analisados estão na Tabela 5:

Tabela 5 - Metodologias usadas para caracterizar a água bruta

Parâmetro	Metodologia
Absorvância	Nefelométrico
Determinação de cor aparente	Espectrofotométrico, comprimento de onda único
Cor verdadeira	Espectrofotométrico, comprimento de onda único.
Turbidez	Método Nefelométrico
pH	Eletrométrico
Temperatura	Eletrométrico
Alcalinidade	Volumétrico
Sólidos Totais, Voláteis e Fixos	Gravimétrico
Cloretos	Mohr
Alumínio	Espectrofotometria. Método 8012 HACH
Ferro	Espectrofotometria, Método 8008 HACH.
Manganês	Espectrofotometria. Método 8149 HACH.
Nitrato	Espectrofotometria. Método 8039 HACH.
Nitrito	Espectrofotometria. Método 8507 HACH.

Oxigênio dissolvido	Método de winkler
Nitrogênio amoniacal	Método de nesslerização. Método 8038 HACH.
Fosforo	Método 8048 (PhosVer).
Coliformes totais	Colilert

Fonte: Autora (2018)

3.4.4 Ensaios de Bancada Com Carvão de Serragem e Carvão Comercial

Os ensaios de bancada foram feitos em triplicata para o carvão granular. Na Tabela 6 estão as características dos carvões usados.

Tabela 6 - Características dos carvões usados nos filtros

Características	Carvão vegetal	Carvão comercial
Origem	Serragem de angelim pedra	Coco de babaçu
Granulometria	Abertura 850mm (mesh 20)	-
Processo de ativação	Não teve	Ativação física

Fonte: Autora (2018)

3.4.5 Ensaios De Bancada Em Filtro Descendente.

Para o teste em filtro descendente, utilizou o carvão da pirólise de serragem e o carvão comercial de coco de babaçu como meio filtrante, o sistema de filtração foi composto por um jarrest, da marca Ethik, modelo 218-6 LDBC4/F4, Figura 7. A vazão do sistema foi medida com auxílio de uma proveta de 100mL e um cronômetro, fazendo a medição na saída da amostra filtrada.

O sistema de jarrest é composto por seis jarros de acrílico com capacidade para dois litros de água e seis filtros, cada um contendo corpo em acrílico transparente 19 mm de diâmetro, 40 cm de altura. A cota de saída de água filtrada foi posicionada, aproximadamente, 1cm acima do topo da camada de carvão, a fim de evitar pressões negativas no decorrer da filtração. Nos filtros de carvão de serragem utilizou 6,5 gramas de carvão em cada filtro, a granulometria do carvão utilizado foi o que ficou retido em peneira de mesh 28 e nos filtros de carvão comercial foram inseridos 19 gramas de carvão granular que ficou retido em peneira de mesh 20 para cada filtro.

Figura 7 - Sistema jarrest com coluna de filtros



Fonte: Autora (2018)

3.5 Análise de Absorbância

As análises de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro DR 6000 com frequência constante, de 20 minutos, tempo previamente determinado para realizar as análises de absorbância após coletada da amostra. As análises foram realizadas até a saturação dos filtros que ocorreu após aproximadamente 10 horas de funcionamento.

Para a determinação da concentração de carbono total nas amostras de água em estudo foram realizadas análises de absorbância, que é um método indireto para identificar a presença de matéria orgânica na água. As análises foram feitas em amostra de água bruta e filtrada até saturar os filtros.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Resíduos Sólidos

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um desafio para os gestores públicos do século XXI, sendo que o crescimento populacional, os avanços tecnológicos e uso cada vez mais frequente de produtos descartáveis contribuem para uma maior geração de lixo e conseqüentemente requer uma destinação final apropriada (ANJOS, 2014).

Visando melhorar a logística de descarte de resíduos sólidos no Brasil, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, a qual orienta e estipula um prazo aos Estados e Municípios para elaborar os planos estaduais e municipais de gerenciamento de resíduos sólidos e solucionar problemas referente a sua destinação final (BRASIL, 2010)

Os resíduos gerados em uma comunidade têm diversas origens, que podem ser: comercial, industrial, da construção civil, residencial, dentre outros. Cada um com suas características específicas. Em sua grande maioria podem ser reutilizados e/ou reciclados, assim, diminuindo a demanda de aterros sanitários (CALDERAN, 2013).

O descarte dos resíduos sólidos (RS), quando feito no meio ambiente, provoca proliferação de insetos, de roedores, atrai animais como cães e gatos, aves, além da poluição visual e contaminação do solo e lençol freático (SOARES, 2013).

Devido à quantidade crescente de resíduos e as capacidades limitadas dos aterros é preciso buscar alternativas para diminuir a sobrecarga dos mesmos, a reciclagem e o reuso são alternativas para minimizar a quantidade de lixo que se produz (SCHMITZ, 2012).

As pesquisas voltadas ao reaproveitamento de RS têm se destacando nas últimas décadas, buscando soluções viáveis para amenizar problemas ambientais e sociais relacionados ao lixo. A pirólise é uma das alternativas em estudo que visualiza nos resíduos sólidos, uma opção aos recursos naturais (PEDROZA, 2017).

Ao agregar valor aos resíduos da madeira, têm-se uma influência positiva no manejo florestal, gerando benefícios em cadeia, assim, o que antes era tido como um problema passa a ser visto como oportunidade de geração de renda, pois a serragem apresenta características distintas, permitindo utilizá-la de diversas formas (RODRIGUES, 2013).

4. 2 Caracterização quanto a Origem e Morfologia do Angelim Pedra

O angelim pedra é uma árvore de grande porte, que pode chegar a uma altura de 60m e atingir de 2 a 3 metros de diâmetro, sendo reconhecida como uma das maiores árvores da floresta amazônica. É uma planta que tem preferência por solos sílico argilosos ou argilosos, vive por um longo período, de fácil identificação devido as características: árvore de grande porte, fuste é cilíndrico, ereto, padrão de desprendimento da casca e acumulação de casca caída ao redor de sua base, como mostra a figura 8. Além de sapopemas na base e ramificação no alto da copa que geralmente é muito grande (HIRAMATSU, 2008).

É uma madeira que se explora para diversas finalidades, sendo usada para arborização urbana, em paisagismo/ornamental, na construção civil, em assoalhos e tacos; em recuperação de áreas degradadas, no artesanato, na medicina/fármaco, na indústria naval e na fabricação de móveis e carpintaria (CARRERO *et al.*, 2014).

Figura 8 - Árvore de Angelim Pedra



Fonte: Museu da Amazônia (2017).

O angelim pedra tem como nome científico *Hymenolobium* sp. Pertence à família dos *Fabaceae*, como mostra a Tabela 7. São encontrados com maior facilidade na Região Amazônica, sobretudo nos Estados do Acre, Rondônia, Amazonas, Pará e Roraima (CARRERO *et al.*, 2014).

Tabela 7 - Classificação Taxonômica do Angelim pedra.

Reino	Plantae
Divisão	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordem	Fabales
Família	Leguminosae ou Fabaceae
Sub família	Papilionoideae ou Faboideae
Gênero	Dinizia
Espécie	Dinizia excelsa
Nome científico	Dinizia excelsa Ducke
Nome Vulgar	Angelim Pedra,

Fonte: Santos (2011)

No Brasil, existem várias espécies de Leguminosae conhecidas como angelim com algumas variações: angelim vermelho, angelim da mata, angelim-rajado que são da mesma espécie, porém de gênero diferentes, por isso, tem cores diferentes (SANTOS, 2011).

É possível observar as características da árvore de angelim pedra conforme a figura 9, onde “(a)” é a base do tronco, apresentando pouca sapopema; “(b)” casca cinzenta escura e áspera, geralmente visualiza placas lenhosas grandes que se desprendem com frequência, dura e quebradiça, não apresentando fissuras nem cheiro particular ao ser cortada; não tem nós salientes; “(c)” a entrecasca é de coloração pouco avermelhada, e produz uma resina avermelhada depois de algumas horas de cortada; o cerne, “(d)” é duro e bastante durável depois de seco fica com cor marrom-amarelo claro; sua copa é umbeliforme, “(e)” as folhas são grandes, mas os folíolos são pequenos oblongos e ovalados de cor verde claro em ambas as faces; flores em panículas esparsas, aromáticas, de cor rósea e os frutos “(f)” são do tipo vagem alada vermelho-escura, contendo de 1 a 2 sementes pequenas. (HIRAMATSU, 2008).

Figura 9 – Características da Árvore Angelim Pedra.



Fonte: Oliveira (2011).

O angelim pedra é uma árvore facilmente reconhecida no campo, podendo distinguir-se com facilidade das outras espécies, pois é uma das maiores árvores da floresta amazônica tendo como característica específica desprendimento do ritidoma em placas grandes, lenhosas e irregulares, a única que forma amontoados na base do tronco e deixam cicatrizes mais claras que a casca morta (FERREIRA; GOMES; HOPKINS, 2004).

Oliveira (2011) e Santana e Okino (2007), estudaram o angelim pedra e apresentaram alguns dos componentes químicos desta madeira, como mostra na Tabela 8.

Tabela 8 - Composição Química da Madeira Angelim pedra em %

Análise realizada	Autores	
	Oliveira 2011	Santana e Okino 2007
Lignina solúvel	1,13%	0,65%
Lignina insolúvel	33,0%	30,3%
extrativos	9,05%	4,4%
cinzas	0,9%	-

Fonte: Autora (2018)

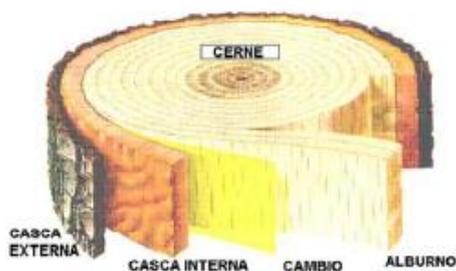
Os principais componentes químicos de uma madeira são o teor de lignina, celulose e hemicelulose, além dos extrativos que são componentes em menor quantidade. A composição de uma madeira varia conforme o grupo que pertence (angiosperma ou gimnosperma) e família. O teor de lignina é uma barreira de proteção das microfibras de celulose, impedindo os agentes patógenos de ter acesso aos demais polímeros (OLIVEIRA 2011).

A diferença dos resultados pode ser em decorrência dos métodos usados para fazer as análises. Apesar desta diferença, os dados encontrados estão dentro dos padrões considerados normais pela literatura, que são de 20 a 35% para lignina insolúvel; extrativos é de 2 a 10% e cinzas é de 0,5 a 5% (OLIVEIRA, 2011).

O cerne desta madeira apresenta alta resistência a ataques de organismos xilófagos (fungos e insetos), com isso, é considerada altamente durável. Também é considerada uma madeira difícil de trabalhar, porém recebe bom acabamento (ZENID, 2009). Estas características fazem com que o angelim pedra seja bastante utilizado na construção civil e em móveis de decoração.

A qualidade de uma madeira está diretamente relacionada a sua durabilidade e/ou resistência natural, características que sofrem influência de fatores biótico e abióticos, sendo que as características físicas e químicas são importantes neste quesito. Sua composição, geralmente, tem-se o cerne no centro, o alburno, o cambio, a casca interna e a casca externa, como mostra a figura 10 (OLIVEIRA 2011).

Figura 10 - Representação anatômica do tronco de uma árvore



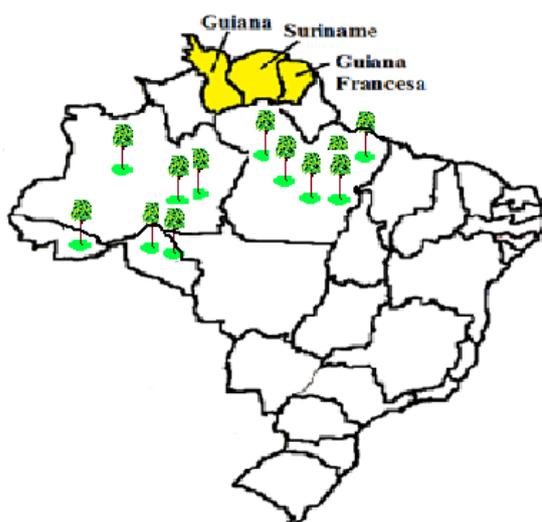
Fonte: Oliveira (2011)

As Madeiras de Lei, (expressão de origem em uma lei colonial usada para referir-se às madeiras destinadas a construção civil e naval) são madeiras que apresentam boa resistência química e biológica, com baixa suscetibilidade a intempéries e a ataques de agentes xilófagos (OLIVEIRA 2011).

4.3 Área de predominância de Madeira Angelim Pedra

O angelim pedra é uma árvore nativa da região amazônica. Os países de maior incidência são: Brasil, Guiana, Guiana Francesa e Suriname, como mostra o mapa da figura 11. No Brasil é encontrado nos estados da Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia (FERREIRA *et al.*, 2004).

Figura 11 - Mapa com localização de maior incidência do Angelim pedra



Fonte: Adaptado de Ferreira *et al.*, (2004).

A exploração da madeira angelim pedra nos estados de incidência no Brasil ocorre por meio de madeiras e em seguida é transportado em forma de toras para as demais regiões do país para o processamento e utilização diversificada, gerando resíduos.

4.4 Serragem

Entende-se por serragem, o resíduo gerado pelo corte de madeiras em máquinas, sendo este de pequena dimensão, acumulado nos terrenos das serrarias, aparentemente sem nenhum valor comercial. Porém ela pode se transformar em matéria-prima de diversas cadeias produtivas, visto que é um material versátil, disponível, acessível e de baixo custo que as serrarias demonstram pouco interesse (RODRIGUES, 2013).

Para Jardim (2014) são diversas as formas de aproveitar resíduos agroflorestais, podendo utilizá-los para geração de energia, para produção de combustíveis sólidos (carvão vegetal, briquetes e pellets), biogás, bio-óleo e demais líquidos, além de produtos químicos

diversos. Assim, convertendo a biomassa em energia, evitando seu descarte e dando um valor econômico ao material que seria descartado.

Como exemplo, a serragem de eucalipto que tem uma produção significativa no Brasil, quando isenta de substâncias químicas e tóxicas, pode ser usada na geração de energia, na forragem para animais, para produção de briquetes, pellets e chapas. Em fábricas de celulose essa biomassa é separada dos cavacos e usada como combustível para as caldeiras (JARDIM, 2014).

Leite (2013) afirma que a madeira é a principal fornecedora de matéria prima para produção de carvão vegetal. Sendo que a serragem é um subproduto da manipulação da madeira, e em sua grande maioria é descartada pelas serrarias sem nenhum valor agregado, contribuindo para aumento dos resíduos em aterros.

Os resíduos de uma madeireira são classificados em: serragem, cepilho e lenha, cada um com características distintas e provenientes dos diferentes tipos de cortes e manipulação da madeira (COUTO, 2009)

A economia de dezenas de municípios da região amazônica está diretamente ligada ao setor madeireiro. Em um quantitativo de 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira extraída, apenas 5,8 milhões de metros cúbicos (41%) é processada, o restante é qualificado como resíduo de processamento. Deste resíduo, em média 1,6 milhões de metros cúbicos são aproveitados na produção de carvão para uso comercial, 2,7 milhões na geração de energia, 2,0 milhões de metros cúbicos em uso direto e 2,1 milhões de metros cúbicos restante são descartados como resíduos sem nenhum aproveitamento econômico (HUMMEL, 2010).

A facilidade de se trabalhar com a madeira angelim pedra proporciona uma variedade de empregabilidade da mesma, sendo aplicada em vigas, caibros, portas, venezianas, ripas e caibros, forros, andaimes e fôrmas para concreto (ZENID, 2009). Em decorrência deste uso diversificado produz-se quantidades expressivas de resíduos de serragem, a qual na maioria das vezes não tem finalidade adequada.

Visto que o uso diversificado da madeira processada gera resíduos, busca-se fechar o ciclo deste manejo utilizando o resíduo de serragem que seria descartado, podendo agregar valor econômico ao que antes seria desprezado no meio ambiente. Assim, produzir carvão através tecnologia adequada tem despertado interesse da indústria, pois, os benefícios são relevantes (PAIXÃO; FERREIRA; STACHIW, 2014).

O carvão de serragem é um dos subprodutos obtidos pelo processo de pirólise e tem diversas aplicações, podendo ser aproveitado diretamente nas serrarias ou em outros locais (RODRIGUES, 2013).

4.5 Aproveitamento dos resíduos de serragem

Nos estados inseridos na Amazônia Legal existem polos madeireiros considerados os mais importantes da região, em 2009 os sete polos foram responsáveis por 36% do consumo total de madeira em tora, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 - Principais polos madeireiros da Amazônia Legal em 2009.

Polo madeireiro	Consumo anual de toras (milhares m ³)	Número de Indústrias	Empregos Gerados	Receita bruta (US\$ milhões)
Paragominas (PA)	755	42	3.63	115
Sinop (MT)	701	117	7.94	135
Belém (PA)	697	35	13.241	141
Aripuanã (MT)	461	30	6.176	99
Juara (MT)	460	39	5.023	76
Breves (PA)	444	159	2.171	42
Rio Branco (AC)	422	24	4641	91
Tomé-Açú (PA)	396	36	9147	63
Ariquemes (RO)	372	47	5943	60
Porto Velho (RO)	330	44	4519	48
Participação em relação ao total (%)	36	26	30	35

Fonte: Pereira *et al.*, (2010).

Além dos polos citados na tabela 3, existem outras cidades dos estados inseridos na Amazônia Legal com menor consumo anual de toras, mas que também contribuem na soma final do quantitativo de resíduos gerados (PEREIRA *et al.*, 2010).

Em 2009, na Amazônia Legal existiam 2.227 empresas madeireiras em funcionamento. Aproximadamente 66% eram serrarias e 18% eram microsserrarias. As beneficiadoras somaram 8%, as laminadoras/faqueadoras somaram 6% e as fábricas de painéis somaram pouco menos de 2%. Essas madeireiras extraíram em torno de 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira em tora, que resultou na produção de 5,8 milhões de metros cúbicos de madeira processada. Isso representou um rendimento médio de processamento de 41%. A maioria, (72%) dessa produção era madeira serrada com baixo valor agregado (ripas, caibros, tábuas e similares). Outros 15% foram transformados em madeira beneficiada com

algum grau de agregação de valor (pisos, esquadrias, madeira aparelhada, etc.); e o restante (13%), em madeira laminada e compensada (HUMMEL *et al.*, 2010).

Ao levar em consideração as diferentes fontes geradoras de resíduos de madeira, Tuoto (2009) fez uma estimativa da quantidade do que é gerado anualmente no Brasil. A representação numérica desta estimativa está na Tabela 10, conforme descrição do autor.

Tabela 10 - Estimativa da quantidade de resíduos de madeira gerado no Brasil.

Fonte geradora	Resíduo de madeira (1.000t/ano)	%
Indústria madeireira	27.750	90,7
Construção civil	923	3,0
Meio urbano (poda de árvore)	1.930	6,3
Total	30.603	100%

Fonte: Tuoto (2009)

A indústria madeireira é a principal fonte geradora de serragem, com aproximadamente 91% do total produzido anualmente.

Quando se trata da destinação final deste resíduo, há uma diversidade de aplicações, associada a vários fatores, dentre eles estão: o tipo de matéria-prima (madeira de floresta nativa ou floresta plantada); a tecnologia envolvida no processamento da madeira; o porte da indústria madeireira e a localização do empreendimento industrial em relação aos centros de consumo (TUOTO, 2009).

Em média, 50% das toras serradas no Brasil geram resíduos madeireiros, entre costaneiras, pontas, retalhos, serragem, pó de lixa e casca. Esse material é mal aproveitado, sendo grande parte jogada nos rios, queimada ou estocada em pátios a céu aberto (BRAND, 2002).

Em 2008 foi feito uma estimativa que no Brasil, anualmente, uma média de 14 milhões de toneladas de resíduos de madeiras eram descartadas. Parte dessa biomassa poderia ser aproveitada e transformada em pellets para ser usado em matriz energética nacional, e também ser exportada para o mercado internacional de biomassa sólida, desde que seja possível produzir um material de qualidade que atenda as exigências dos consumidores (GENTIL, 2008). Além de ser usada em matriz energética, pode ser usada para produzir carvão vegetal, usada como matéria prima para produzir carvão ativado e o bio-óleo.

Na região amazônica, uma média de 35% dos resíduos gerados nas indústrias madeiras são queimados, seguido de um quantitativo de 28% que é doado ou vendido e em

torno de 20% é usado para produzir energia e suprir a demanda das empresas, sendo que apenas as madeireiras de grande porte usam esta matéria prima para gerar energia. Na maioria das vezes o armazenamento e queima é feito nos pátios das madeireiras, resultando em perdas econômicas significativas, além dos prejuízos ambientais em consequência destas atitudes (TUOTO, 2009).

4.6 Pirólise

A pirólise é um processo que envolve combustão na ausência de oxigênio. Pedroza (2011), define o processo como: “degradação térmica de qualquer material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou até mesmo, em um ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de evitar a gaseificação intensiva do material orgânico”.

Há relatos que a aplicação do processo de pirólise tem iniciado com os egípcios na extração de alcatrão para calafetar barcos e em embalsamento. Desde então ocorreu aperfeiçoamento da técnica de pirólise e o que se tem hoje, são processos dos seus subprodutos cujos principais são bio-óleo e carvão vegetal (FARAG *et al.*, 2002).

A produção de carvão vegetal pode ter sido uma das primeiras aplicações de pirólise em grande escala, porém, no início recebeu pouca credibilidade dos cientistas e da sociedade. Com a necessidade, o processo foi usado para produção de gás usado na iluminação, mostrando maiores benefícios, em 1733 foi feita a primeira demonstração na Sociedade Real Britânica e em 1823 numerosas cidades em toda a Grã-Bretanha estavam usando gás proveniente da pirólise para iluminação (BASU, 2010).

Os tipos de tecnologias de pirólise proposto na década de 90 ainda são usados. Gómez (2002) e Pedroza (2011) mencionaram o modelo proposto por Bridgwater (2001). A combinação de temperatura, taxa de aquecimento e tempo que determina o tipo de produto a ser obtido. A Tabela 11 demonstra as variantes mencionadas.

Tabela 11 - Variantes do processo de pirólise

Variantes do processo	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	Temperatura máxima de pirólise, °C	Produtos obtidos
Carbonização	horas-dias	Muito Pequena	400	carvão vegetal

Convencional	5-30 min	Pequena	600	bio-óleo, carvão e gás
Rápida	0,5-5 seg	Intermédia	650	bio-óleo
Flash líquido	menos de 1 seg	Alta	menos de 650°C	bio-óleo
Flash gás	menos de 1 seg	Alta	maior de 650°C	produtos quím. e gás comb.
Ultra-rápida	menos de 0,5seg	Muito Alta	1000	produtos quím. e gás comb.
Vácuo	2-30 seg	Intermédia	400	bio-óleo
Hidropirólise	menos de 10 seg	Alta	menos de 500°C	bio-óleo e produtos quím.
Metanopirólise	menos de 10 seg	Alta	maior de 700°C	produtos quím.

Fonte: Gómez (2002).

Quando a finalidade é apenas a produção de carvão, tem-se a carbonização, diferentemente da pirólise convencional que tem como produto final o carvão, o bio-óleo e o gás. A degradação térmica provocada pelo processo de pirólise proporciona o fracionamento de macromoléculas em moléculas menores. A madeira é a principal fonte de matéria-prima na produção de carvão vegetal e desde 1990 tem aperfeiçoado as tecnologias para melhorar o rendimento do carvão (DA CRUZ, 2012).

A pirólise é vista como uma alternativa para a valorização da serragem, visto que se trata de um processo que requer poucos insumos além da própria biomassa e de energia térmica. Além disso, suas dimensões são ideais para o processo. (RODRIGUES, 2013)

Com o processo de pirólise, a serragem pode ser transformada em produtos de maior valor agregado, que são bio-óleo e o carvão. É um processo proveniente da despolimerização e fragmentação dos três principais componentes da biomassa: celulose, hemicelulose e lignina (SCHNEIDER *et al.*, 2014).

4.7 Carvão

Existem vários tipos de carvão, mas os mais comuns são o carvão mineral, o vegetal e o ativado; e suas principais diferenças são decorrentes da forma de obtenção, da porosidade e da área superficial (MIMURA, 2009).

O carvão mineral é um recurso natural não renovável, de origem fóssil. Sua principal aplicação é na produção de energia, e em países como China e Estados Unidos é considerado a principal fonte de energia elétrica (ANEEL, 2016)

O carvão vegetal é resultante do processo de degradação térmica provocando ruptura de ligações carbono-carbono e formando ligações carbono-oxigênio. O que varia são as faixas de temperatura, que proporcionam rendimento variado do carvão, pois as condições de produção e o aquecimento influenciam no processo (PINTO; CALIL JUNIOR, 2003)

O carvão ativado é um produto resultante da carbonização a elevadas temperaturas, constituído de estrutura porosa, o que lhe confere maior capacidade para adsorver substâncias de origens orgânica e inorgânica presentes em substâncias líquidas e gasosas (FALEIRO, 2008).

Na década de 90, a produção de carvão vegetal no Brasil era destinada à demanda da indústria, ao uso doméstico e rural, porém os principais consumidores eram as indústrias, sendo que a matéria prima usada era a madeira (BRITO, 1990).

A faixa de temperatura de degradação térmica é variada, e para cada faixa, há características específicas. Bridgwater (2001) diferencia das faixas de temperatura e o rendimento do subproduto do processo:

- Carbonização: é realizado em baixas temperaturas 400-450°C, com tempo de residência moderado, o qual pode ser de horas ou dias, as partículas são grandes. Tem como subproduto: líquido – 30%, carvão –35%, gás- 35%.

- Pirólise rápida: a temperatura do processo é moderada, variando de 450 - 550°C. O tempo é curto, sendo os tempos de residência dos vapores e biomassa <2 s, com baixa granulometria. Subproduto: líquido – 75%, carvão –12%, gás- 13%.

- Gaseificação: tem como característica a alta temperatura (900°C), longos tempos de residência: líquido – 5%, carvão –10%, gás- 85%.

Atualmente a busca por alternativas à madeira tem motivado pesquisadores a estudar resíduos da agroindústria que sejam economicamente e ambientalmente viáveis. Existem vários trabalhos explorando diversas matérias primas de biomassa residual para produção de carvão, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Biomassas utilizadas para produção de carvão

Autores	Matéria prima utilizada para produzir carvão
Valcarengi e Ribeiro (2013)	Pó de Serragem de MDF e Madeirite

Couto (2009)	Serragem de Eucalipto
Guimarães (2006)	Endocarpo de coco da Baía

Fonte: Autora (2018)

O carvão ativado, em sua grande maioria, tem a madeira como principal fonte de matéria prima, é obtido pelo processo de carbonização na ausência de oxigênio, e submetido ao processo de ativação que pode ser física ou química (PEREIRA, 2010).

A porosidade do carvão é uma característica muito importante na qualidade da adsorção, pois os tipos de poros influenciam na capacidade adsorptiva do carvão. Visando a padronização da classificação dos poros do carvão, a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) em 1985, classificou-o de acordo com as formas e tamanho dos poros. Na figura 6 estão as diferentes formas dos poros (ANDRADE, 2014).

O carvão ativado, em sua grande maioria, tem a madeira como principal fonte de matéria prima, é obtido pelo processo de carbonização na ausência de oxigênio, e submetido ao processo de ativação que pode ser física ou química (PEREIRA, 2010).

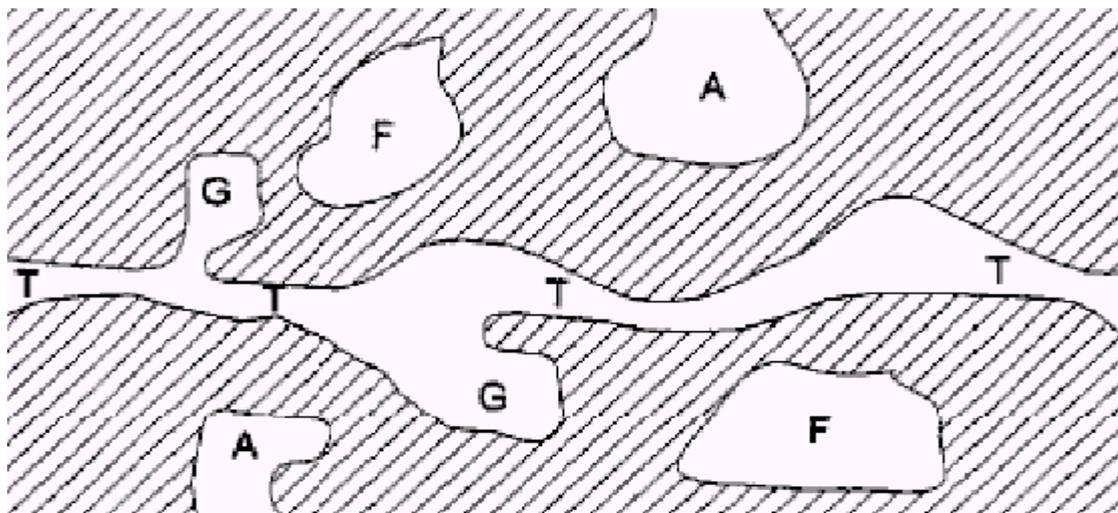
De acordo com a classificação da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), (1985) o carvão ativado é classificado de acordo com a dimensão de seus poros:

- Poros com diâmetros maiores que 50 nm são chamados de macroporos;
- Poros com diâmetros entre $2 \text{ nm} < e < 50 \text{ nm}$ são chamados de mesoporos;
- Poros com diâmetros menores que 2 nm são chamados de microporos.

Devido ao elevado valor comercial do carvão ativado, busca-se alternativas que sejam mais acessíveis e que proporcionam as mesmas qualidades do produto. O carvão vegetal e o ativado são comercializados para finalidades distintas, a Tabela 06 mostra alguns estudos com diferentes carvões que foram feitos para verificar a eficiência em finalidades variadas.

Além da classificação quanto ao diâmetro, o carvão também é diferenciado quanto ao tipo dos poros, que podem ser classificados como abertos (A), fechado (F), poros de transporte (T) e poros tipo gaiola (G). A Figura 12 mostra esta classificação do carvão conforme os poros.

Figura 12 - Diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma.



Fonte: Andrade (2014). - (A) poro aberto, (F) poro fechado, (T) poro de transporte, e (G) poro tipo gaiola.

De acordo com Gimenez, Ferreira e Alves (2004), os poros fechados exercem influência sobre as propriedades mecânicas enquanto que os poros abertos são ativos ao fluxo de gases e líquidos. Ao conhecer os tipos de poro de um carvão, facilita sua aplicabilidade e pode ser utilizado onde oferece maior potencial de adsorção.

É possível observar na Tabela 13 que há diversos estudos voltados para pesquisa de carvão com diferentes biomassas. Autores que estão empenhados a encontrar alternativas que contribuem com questões socioambientais e econômicas, visando encontrar carvão de qualidades adsotiva com menor custo econômico e que possa ser utilizado para fins de remoção de poluentes presentes em água de diversas fontes poluidoras.

Tabela 13 - Estudos com carvão vegetal e ativado

Autores	Biomassa	Tipo de carvão	Finalidade
Panziera, <i>et al.</i> , (2015)	Casca de arroz, politereftalato de etileno, membrana geotêxtil, serragem, carcaça de pneu e areia fina.	-	Filtro de água para reuso
Andrade (2014)	Talo de buriti	Carvão ativado	Verificar eficiência do carvão obtido utilizando o corante têxtil <i>Amarelo FN-2R Cibacron</i> em solução aquosa.

Lunardi (2014)	Pó de serragem de <i>Pinus sp.</i>	-	Avaliar a eficiência de remoção dos corantes em soluções aquosas através da adsorção
Valcarenghi, Ribeiro (2013)	Pó de serragem de MDF e de Madeirite	Carvão ativado	Remoção de corante de azul de metileno de solução aquosa
Niedersberg, 2012	Casca de Tungue (aleurites fordii)	Carvão ativado	Remoção de corante de azul de metileno de solução aquosa.
Antunes (2010)	Serragem de madeira	-	Tratamento De Efluentes Têxteis
Faleiros (2008)	Babaçu	Carvão ativado	Remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de amostra de água.

Fonte: Autora (2018)

4.8 Adsorção

A adsorção é um processo físico-químico, onde componentes da fase fluida (gás ou líquido) são transferidos (adsorvidos) para a superfície de um sólido (adsorvente), neste caso, as impurezas de um líquido que são retidas em um filtro de carvão (SANTOS 2015).

O processo de adsorção física é obtido pelo resultado de forças intermoleculares de atração entre as moléculas do adsorvente e do adsorbato, sendo um fenômeno reversível. Na adsorção química, o resultado da interação química entre o adsorvente e o adsorbato, na maioria das vezes é irreversível, devido a formação de ligação química entre as moléculas dos adsorventes e do adsorbato (VALCARENGHI e RIBEIRO, 2013)

Nascimento *et al.*, (2014) menciona que na década de 80, o processo de adsorção, na época, já era o mais utilizado para remoção de cor, odor, impurezas, na purificação de substâncias e no tratamento de água. Este processo continua sendo o mais acessível para esta finalidade. Em tratamento de água é um método comum.

O equilíbrio da adsorção é obtido pela relação entre a quantidade máxima de soluto adsorvido e sua concentração remanescente na solução. Sendo que a eficiência do adsorvente é avaliada com os parâmetros de equilíbrio que são obtidos a partir de isotermas de adsorção,

as quais mostram a capacidade de adsorção de um adsorvente. Assim, o processo de adsorção pode ser avaliado quantitativamente, por meio das isotermas (SANTOS, 2015).

Fatores como pH, temperatura, tamanho dos poros do adsorvente e tipo de adsorbato influenciam no processo de adsorção (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A capacidade de adsorção de diferentes tipos de biomassa (Tabela 14) apresentado por Antunes *et al.*, (2010), mostra a busca por alternativas ao carvão.

Tabela 14 - Capacidade de adsorção de diferentes tipos de biomassa

Adsorvente	Massa de soluto adsorvida (mg/g)	Corante	Referências
Carvão comercial	434	Remazol Black B	Al-Degs <i>et al.</i> , (2000)
Carvão comercial	400	Remazol red	Al-Degs <i>et al.</i> , (2000)
Carvão de casca de eucalipto	90	Remazol Black B	Morais <i>et al.</i> , (1999)
Carvão de casca de coco	11,04	Remazol vermelho RG	Koirishi <i>et al.</i> , (2000)
Microesfera de quitosana	30,4 (pH 2,0) 5,69 (pH 9,5)	Reativo Laranja 16	Kimura <i>et al.</i> , (2000)
Salvília sp	133	Rodamina B	Fincato, Walber e
Argila Esmectita In natura	370,37	Solophenyl Turquesa BRLE 400%	SILVA <i>et al.</i> , (2005)
Argila Esmectita Ativada	769,23	Solophenyl Turquesa BRLE 400%	Silva <i>et al.</i> , (2005)

Fonte: Antunes *et al.*, (2010).

A Tabela 14 mostra os resultados de adsorção testados em diferentes tipos de corantes. O carvão ativado é bastante conhecido e utilizado devido a sua eficiência na remoção de corantes, porém é avaliado como produto de alto custo comercial. Por isso, tem-se buscado alternativas que seja eficiente no processo de adsorção e com custos reduzidos (ANTUNES *et al.*, 2010).

4.9 Tratamento De Água

Sabe-se que a água é indispensável para manutenção da vida no ecossistema. Trata-se de um recurso natural, porém, limitado. Ela é imprescindível nas atividades diárias dos serviços doméstico, comercial e industrial, sem ela torna-se inviável o bom funcionamento destas empresas e das atividades do dia-a-dia (MANCHESTER *et al.*, 2013)

Não basta apenas ter água, é preciso que esta seja de boa qualidade e em quantidade suficiente para atender todas as demandas da sociedade e do meio ambiente. Para garantir esta qualidade, adota-se os parâmetros especificados em lei de acordo com a sua finalidade. (BRASIL, 2006).

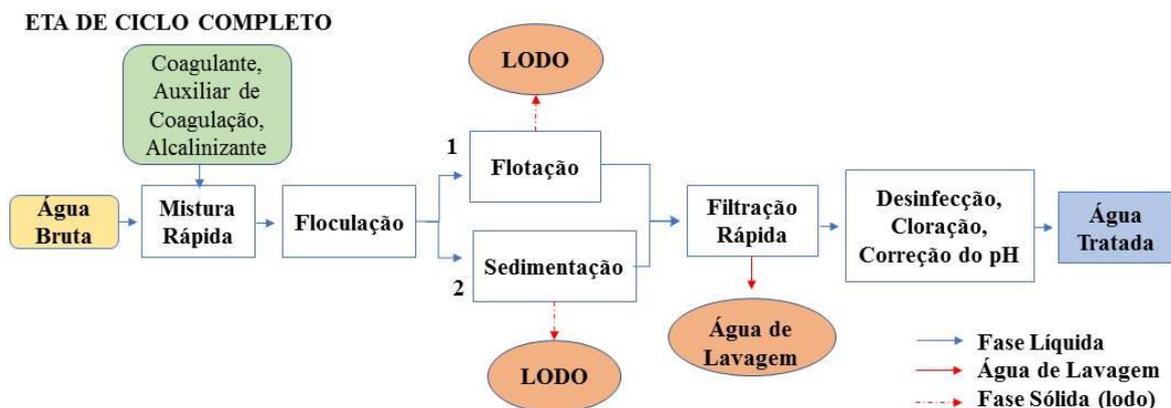
A Portaria Nº 2.914 (2011) estabelece os padrões de potabilidade da água para o consumo humano. Nela está expresso as condições que a água deve estar para ser considerada potável, garantindo saúde dos usuários e evitando problema de saúde pública, pois, sem o devido tratamento, a água é um meio de transmissão de doenças.

A escassez de água de boa qualidade é um dos problemas enfrentados pelas companhias de saneamento na atualidade, isto é, em decorrência da expansão urbana, da contaminação dos mananciais por agrotóxicos, despejo de efluentes industriais não tratados e a falta de preservação das áreas de preservação permanentes. (MOURA, 2014)

Um dos desafios das empresas de abastecimento urbano é fornecer água de boa qualidade à comunidade, visto que os mananciais estão cada vez mais escassos, devido à expansão urbana e ineficiência de fiscalização, assim, a cada ano que passa aumenta os assoreamentos causando uma significativa diminuição de vazão. Os processos de tratamento de água estão ficando cada vez mais complexos, exigindo mais recursos para que a água seja considerada de qualidade e atenda os parâmetros da legislação (SILVA, 2009).

Os sistemas de tratamento de água variam de acordo com as características da água a ser tratada. Geralmente é composto por captação, adução, coagulação floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoreação, reservatório e distribuição para população. A figura 13 ilustra um sistema de tratamento de água convencional ou de ciclo completo.

Figura 13 - Sistema de Tratamento de Água - ciclo completo.



Fonte: Adaptado de Di Bernardo; Dantas; Voltan (2017).

A filtração é uma das últimas etapas de um processo de tratamento de água convencional, removendo partículas que passaram pelas fases anteriores do sistema. Pode ser rápida ou lenta e ascendente ou descendente. A escolha deste processo depende das características da água (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

Conforme Di Bernardo; Dantas e Voltan, (2017) os filtros podem ser constituídos de: areia; pedregulho e de carvão ou mistos. Sendo necessário um estudo prévio para conhecer as características da água bruta e escolher a tecnologia adequada para atender os parâmetros de qualidade da água.

O carvão ativado é uma alternativa considerada eficiente na remoção de poluentes como agrotóxico, matéria orgânica, metais, sabor, odor e cor. O carvão pode ser usado em filtros de forma granular ou pulverizado na fase de mistura rápida, porém, ainda é uma tecnologia de custo elevado (FALEIRO, 2008).

Ao optar pelo carvão ativado pulverizado (CAP), este é facilmente utilizado nas ETA convencionais, sem necessidade de novas instalações, pois necessita-se apenas saber as dosagens necessárias para remover determinado poluente ou contaminante existente na água (KURODA *et al.*, 2005).

O produto que é adicionado em dosagens previamente definida nas primeiras etapas do processo, na fase de mistura rápida, permitindo uma homogeneização do CAP com a água seguido das fases de coagulação, floculação e sedimentação (FALEIROS, 2008)

Para usar o carvão granular são necessárias instalações apropriadas e montagem do sistema de filtração com esta finalidade, tornando o processo mais caro, por isso, é pouco usado no Brasil (KURODA *et al.*, 2005).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados e discutidos os resultados da investigação experimental, sendo apresentado conforme sequência da metodologia, abordando primeiro a caracterização da biomassa, seguindo a do carvão e por último os processos de adsorção.

5.1 Caracterização da Biomassa

5.1.1 pH da Biomassa

O pH é o parâmetro que indica o índice de acidez da biomassa em estudo. Na Tabela 15 está o resultado desta pesquisa e de outros autores.

O pH é uma variável que afeta o processo de adsorção devido aos íons presentes na biomassa, isto ocorre por meio da dissociação de grupos funcionais de sítios ativos existentes na superfície do material adsorvente, sendo que em meio ácido, há uma maior carga positiva na biomassa, o que facilita a interação com adsorventes de carga negativa. Quando o pH é básico, a carga negativa interage favorecendo grupos ácidos (SANTOS, 2015).

Verifica-se na Tabela 15, que o pH da serragem de angelim pedra é levemente ácido, o que favorece uma melhor interação com adsorventes de carga negativa. Também é possível observar que o pH da serragem de MDF e de madeira também é ácido, já o pH da serragem de madeirite, é neutro. Sua determinação é importante, pois auxilia na escolha do processo de empregabilidade para trabalhar com melhor aproveitamento da biomassa (VALCARENGHI e RIBEIRO 2013).

Tabela 15 - Resultados da análise de pH da biomassa da serragem de angelim pedra e de outros autores.

Variável	Resultado desta pesquisa	Outros autores	
		Valcarenghi e Ribeiro (2013)	Antunes <i>et al.</i> , (2010)
pH	5,04	4,92 para MDF e 7,08 para madeirite	4,4 para serragem ⁽¹⁾

Fonte: Autora, (2017)

(1) – O autor não especificou o tipo de serragem utilizada em seu trabalho.

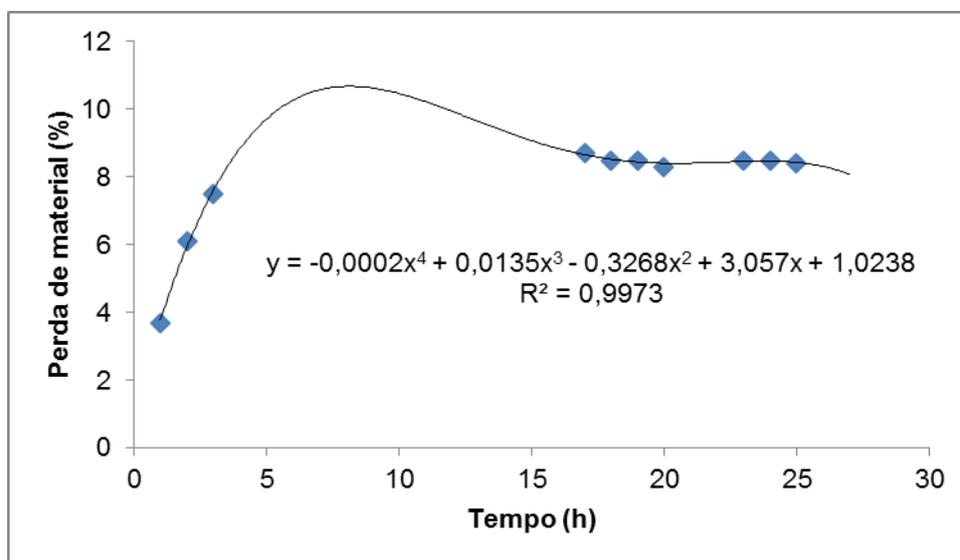
O valor encontrado na serragem de angelim pedra indica acidez para esta biomassa, visto que Antunes *et al.*, (2010) e Kollmann (1959), mencionam que o pH da madeira tem variação entre 3,3 e 6,5, geralmente sendo um pH mais ácido.

5.1.2 Cinética de Perda de Massa da Biomassa

As Figuras 14 e 15 mostram as curvas de secagem da serragem de madeira em função da temperatura e do tempo. Nos dois gráficos observa-se que com o passar do tempo houve uma redução da umidade do material com as temperaturas de 40 e 50°C, atingindo uma constante a partir das 24 horas.

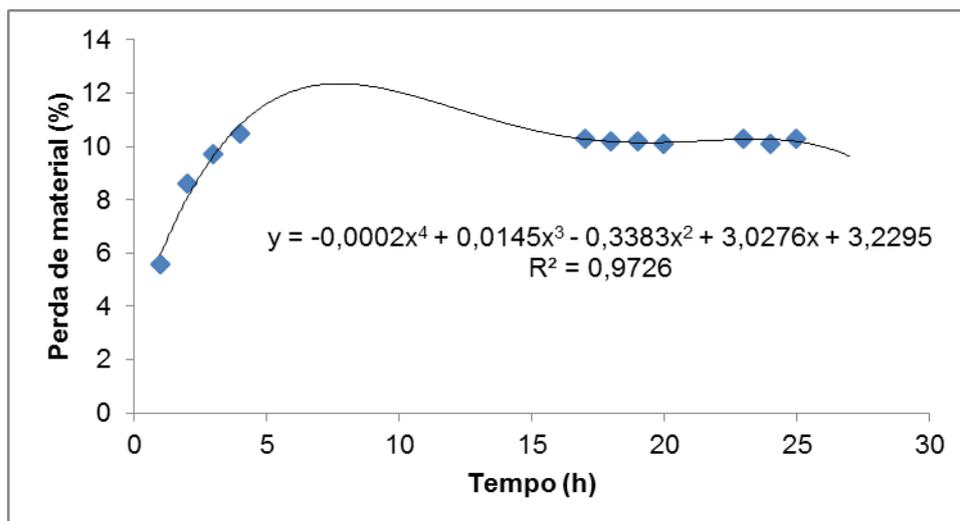
Ao analisar os gráficos da cinética de secagem nas Figuras 14 e 15, é possível observar as diferenças da perda de umidade nas curvas de secagem a 40°C e 50°C nas primeiras horas. Para os tempos de 2, 5 e 10 horas a perda de massa a 40°C foi de 5,9; 9,7 e 10,4% respectivamente. E para temperatura de 50°C foi de 8,08; 11,6 e 12,2%, mostrando que com a temperatura maior, há uma aceleração da secagem da biomassa.

Figura 14 - Cinética de secagem a 40° C.



Fonte: Autora, (2018)

Figura 15 - Cinética de secagem a 50° C



Fonte: Autora, (2018)

A redução da umidade da biomassa em relação ao tempo é visível nas primeiras cinco horas nas duas figuras. A estabilidade de perda de massa da biomassa ocorreu em aproximadamente 24 horas, mostrando que o tempo de secagem da serragem em estudo pode ser atingido em um tempo previamente programado, possibilitando delinear as análises da biomassa com melhor aproveitamento do planejamento experimental, visto que a umidade interfere nos fatores tempo e temperatura do processo pirolítico.

Paz (2017) ressalta sobre a importância da cinética de perda de água em um processo de pirólise, pois a umidade interfere no fator tempo do ciclo pirolítico, sendo que um dos fatores estudados é o efeito do tempo da pirólise para produção do carvão. Em uma pirólise programada para ocorrer em trinta minutos, caso haja umidade, esta terá o ciclo reduzido, pois, parte deste tempo será utilizado para perda da umidade.

5.1.3 Densidade Aparente

De acordo com Nobre (2013), a densidade influencia diretamente na qualidade do carvão. Teoricamente, uma madeira muito densa não produz um bom carvão, pois, possui menores áreas com espaços vazios e menor área superficial. Sendo assim, entende-se que o baixo valor da densidade encontrado na serragem de angelim pedra é satisfatório, pois favorece a produção de um bom carvão.

O valor da média da densidade aparente da serragem de angelim pedra foi de 0.297 g/mL, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados da análise da densidade aparente da serragem.

Variáveis	Resultados desta pesquisa		Outros Autores		
	Média	Desvio Padrão	Valcarengue e Ribeiro, (2013)	Nobre <i>et al.</i> , (2015)	Paes <i>et al.</i> , (2012).
Densidade (g/mL)	0,297	0,0015	0,226 Serragem de MDF	0,880 serragem de Apuleia Leiocarpa	0,52 serragem de Angico-vermelho

Fonte: Autora, (2018)

O valor encontrado para a densidade é próximo do valor encontrado por Valcarengue e Ribeiro (2013) que trabalharam com serragem de MDF. Já os autores Nobre *et al.*, (2015) trabalharam com a serragem da madeira Apuleia Leiocarpa, e Paes *et al.*, (2012), trabalharam com Angico-vermelho. Os valores distintos encontrados pelos autores citados podem ser em decorrência das diferentes espécies estudadas que têm características e composição distintas.

5.1.4 Caracterização da Biomassa Por Meio das Análise Imediatas

O processo de análise imediata fornece as frações em peso de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo de uma determinada amostra. Os resultados das análises imediatas obtidos a partir da biomassa da serragem de angelim pedra se encontram descritas na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados das análises imediata da biomassa da serragem.

Variáveis	Resultados desta pesquisa		Outros autores	
	Média	Desvio Padrão		
Cinzas%	0,19	0,006	0,2 Couto (2009) ⁽¹⁾	1,0, Oluoti, 2(016) ⁽²⁾
Umidade	4,52	0,23	12,7 Valcarenhi e Ribeiro (2013) ⁽³⁾	27,2 Valcarenhi e Ribeiro (2013) ⁽⁴⁾
Material Volátil%	90,39	0,7	84,78 Jardim (2014) ⁽⁵⁾	83,25- Jardim (2014) ⁽⁶⁾
Carbono Fixo%	4,9	0,87	13,97- Jardim (2014) ⁽⁵⁾	13.47- Jardim (2014) ⁽⁶⁾

Fonte: Autora, (2017)

⁽¹⁾ Biomassa de eucalyptus; ⁽²⁾ Biomassa da madeira teca; ⁽³⁾ serragem de MDF; ⁽⁴⁾ serragem de madeirite; ⁽⁵⁾ serragem de bambu; ⁽⁶⁾ serragem de eucalipto.

Observa-se que há uma semelhança nos resultados do teor de cinzas deste trabalho e outras madeiras estudadas, como é o caso da serragem de eucalyptus do estudo de Couto (2009) e da madeira teca, estudada por Oluoti (2016). Uma pequena quantidade de cinzas obtida em uma amostra de biomassa é um fator positivo na produção de carvão ativado, pois sua presença está relacionada a quantidade de minerais no carvão, que em elevada quantidade influencia no processo de adsorção (COUTO, 2009).

A umidade indica retenção de líquidos na biomassa. Valcarenhi e Ribeiro (2013), que estudaram a serragem de MDF com teor de umidade 12,2% e de madeirite de 27,2% mencionam que os poros presentes no pó da serragem são responsáveis pela retenção de líquidos, com isso, podem variar conforme a sua origem. É uma variável que influencia na combustão, pois, quanto maior o teor de umidade, maior será o consumo de energia usada no processo de pirólise. Além disso, Gómez, (2002) menciona que o teor de umidade e o tamanho da partícula são variáveis associadas às características do sólido e influenciam na dinâmica do processo de pirolise.

O teor de umidade dos materiais apresenta um importante papel no desenvolvimento da pirólise. Isto pode ser confirmado pelo fato de que a pirólise é menos drástica quando o processo se realiza com matéria seca. Nesse caso, os produtos da pirólise apresentam componentes levemente decompostos, especialmente compostos oxigenados. De acordo Shie *et al.*, (2003), o teor de água tem um impacto importante sobre o consumo de energia para a secagem da biomassa. Segundo Sánchez *et al.*, (2009), a quantidade de água obtida depois da pirólise, é geralmente, superior ao teor de umidade da biomassa, o que indica que há formação desse líquido durante o processo

Jardin (2014), encontrou valores de material volátil para o bambu e serragem de eucalipto, semelhantes ao da serragem de angelim pedra, sendo que é um componente desejável pois acelera o processo de pirólise e mantém as chamas uniformes.

Quanto menor o carbono fixo e mais elevado o material volátil, mais rápido ocorre a combustão, favorecendo o processo de pirólise, pois são componentes que estão associados a combustão da biomassa. Os resultados podem variar conforme a biomassa estudada, como mostra a Tabela 17, que apresenta estudos de diferentes biomassas com resultados distintos. Ao comparar o carbono fixo da serragem de angelim pedra e os de outros autores, observa que a serragem de bambu (13,97%) e de eucalipto (13,47%) têm uma maior quantidade de carbono fixo, porém os valores do material volátil são mais próximos.

5.1.5 Composição química da Serragem

Os resultados obtidos conforme a quantidade de lignina, celulose e hemicelulose que são os componentes encontrados em maior abundância em uma madeira estão na Tabela 18. Os resultados foram obtidos conforme o percentual para cada análise.

Tabela 18 - Resultados das análises de composição química da biomassa da serragem de angelim pedra e de outros autores.

Variáveis	Resultados desta pesquisa		Outros autores	
	Média	Desvio Padrão	Nobre (2013)	
Lignina%	38,5	0,8	33,47 serragem de Ipê	34,68 serragem de Maçaranduba
Holocelulose%	53,9	0,4	69,05 serragem de Ipê	69,41 serragem de Maçaranduba
Hemicelulose%	17,8	0,7	-	-

Fonte: Autora, (2018)

Como a lignina é uma substância resistente a degradação térmica da madeira, em comparação com a celulose e a hemicelulose, seu elevado teor favorece a produção de carvão ativado. O teor de 38,5%, encontrado na serragem de angelim pedra, é satisfatório para produção de carvão, pois comparando este resultado com a curva de TG, a lignina foi degradada a temperatura elevada. Sabemos que a lignina é degradada a uma temperatura maior que os demais componentes. Ao observar a Tabela 18, nota-se que os valores de lignina de outros autores, se comparado com o do Angelim pedra, tem um resultado próximo.

A lignina é a substância mais estável entre os componentes estudados na biomassa. Essa estabilidade é justificada a partir das ligações químicas presentes no composto que é de natureza polimétrica e tridimensional rica em anéis aromáticos, o que lhe confere uma estabilidade nas ligações e, portanto, para ocorrer a sua degradação há uma necessidade de ser submetido a uma energia superior quando comparada a celulose e a hemicelulose.

A holocelulose que engloba os carboidratos totais de uma célula vegetal é composta pela celulose e demais carboidratos, e apresenta valores inferiores aos apresentados por Nobre (2013), como mostra a tabela 18.

A hemicelulose é composta por açúcares presente na madeira que tem seu valor econômico e comercial nas indústrias alimentícias e na produção de etanol.

Ao comparar os valores de hemicelulose e lignina presente na serragem de angelim pedra e as características da degradação térmica de cada composto, é possível sugerir que esta biomassa apresenta mais um indicativo de sua qualidade propícia à produção de carvão.

5.1.6 Análise Elementar (CNH)

Os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio encontrados na serragem de angelim pedra e outros autores estão na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados da análise elementar da serragem

Variável	Resultado desta pesquisa	Outros autores	
		Nobre (2013) Serragem de Ipê	Couto (2009) Serragem de Eucalyptus
Carbono (C)%	48,3	51,79	45,5
Hidrogênio (H)%	5,09	5,64	6,2
Nitrogênio (N)%	0,25	1,14	0,13
Oxigênio %	46.36	41,35	40,1
Enxofre (S) /Oxigênio(O)%	-	0,06	-

Fonte: Autora, (2018)

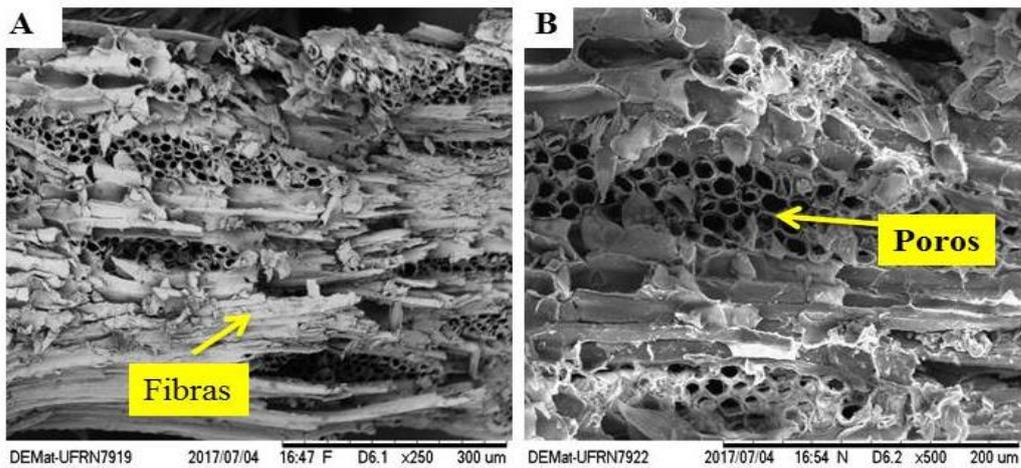
Ao comparar os resultados da análise elementar da serragem de angelim pedra com o estudo de outros autores, observa-se que os valores encontrados são semelhantes. O carbono é visto como elemento que está relacionado a característica de potencial energético da biomassa, pois, quanto maior seu teor, melhor será o poder calorífico da biomassa.

A presença de enxofre e nitrogênio está associada a poluição após a combustão da matéria, pois são componentes que formam compostos como óxido de nitrogênio (NOx) e de enxofre (SOx), substâncias consideradas altamente poluidoras (PAZ, 2017).

5.1.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A determinação da estrutura da superfície foi obtida através da microscopia Eletrônica de Varredura. Nas Figuras 16 e 17 estão as imagens da serragem do angelim pedra com ampliação de 250 e 500 e de 1,5K e 2,5K vezes, respectivamente.

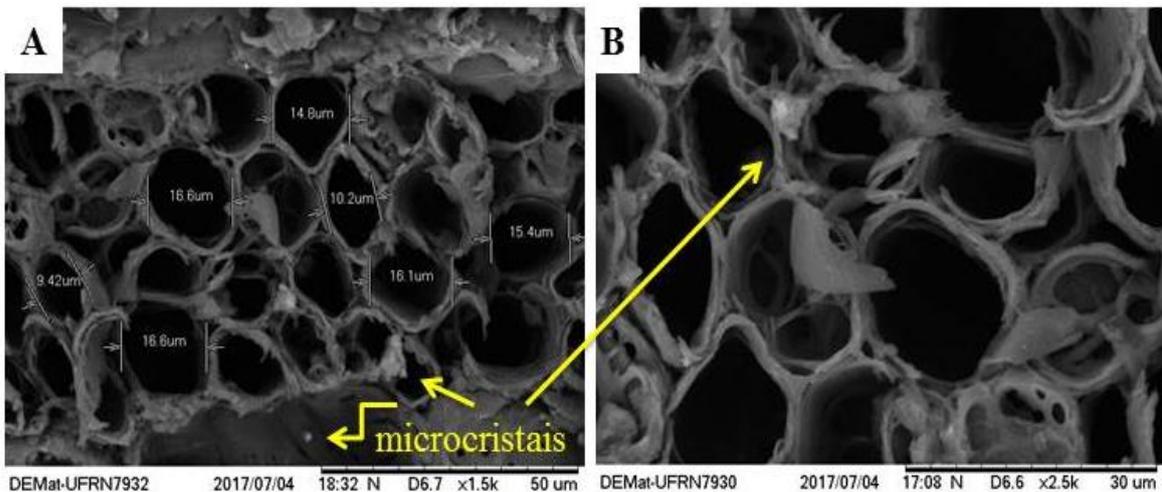
Figura 16 - Microfotografia (a) e (b) da serragem com ampliação de 250 e 500 vezes.



Fonte: Autora, (2018)

Na Figura 16, na serragem, nota-se uma superfície áspera e irregular, características de material lignocelulósico, além da presença de alguns poros e fibras na biomassa *in natura*, evidenciando que a matéria-prima já possui certa porosidade.

Figura 17 - Microfotografia da serragem de angelim pedra.



Fonte: Autora, (2017)

Na Figura 17, é possível observar nas imagens o tamanho dos poros na biomassa *in natura* que estão relacionados ao transporte de líquidos até a superfície dos microporos e a presença de alguns microcristais.

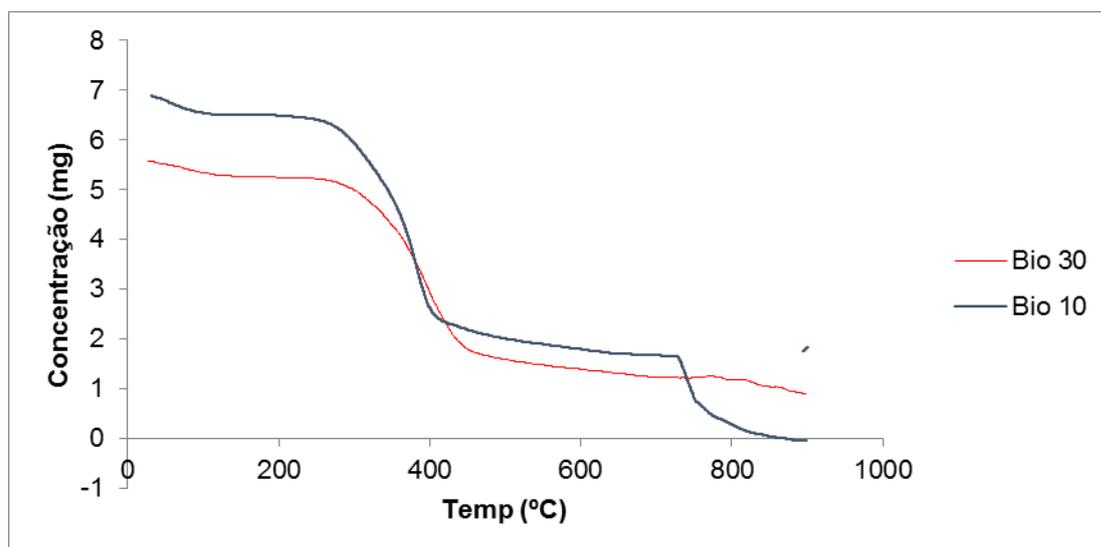
Espaços vazios semelhantes a estes foram encontrado na serragem de eucalipto, no estudo realizado por Couto (2009), e Paz (2017), que estudou a fibra de coco, encontrou microcristais e correlacionou-os com o tipo de solo de origem de sua biomassa, também mencionou que a presença de espaços vazios na biomassa que contribuem para transferência de calor em um processo de degradação térmica. Nota-se que este indício de poros facilita o processo de adsorção, caso se queira utilizar apenas a biomassa de forma *in natura* como material adsorvente.

5.1.8 Análise Termogravimétrica (TG)

Na a análise de TG é possível avaliar a perda de massa por unidade de tempo, verificando a decomposição térmica de uma biomassa, quanto a perda dos componentes lignina, celulose e hemicelulose e outros compostos que são degradados no processo de aquecimento. É uma análise que possibilita verificar a estabilidade térmica de um material (BIANCHI *et al.*, 2010).

Na Figura 18 são apresentadas as curvas termogravimétricas (TG) para serragem de angelim pedra. As curvas foram obtidas aplicando-se as taxas de aquecimento de 10 e 30° C/min.

Figura 18 - Curva de degradação termogravimétrica da serragem de angelim pedra



Fonte: Autora, (2017)

BIO 10 – Taxa de aquecimento a 10 °C por minuto; BIO 30 – Taxa de aquecimento a 30 °C por minuto

Ao analisar as curvas de TG da serragem de angelim pedra, é possível observar que o primeiro declínio ocorre no intervalo de 30 a 250°C. Neste primeiro momento, pode ser atribuída perda de água presente na biomassa. O primeiro pico de degradação térmica da serragem ocorre nos intervalos entre 300°C até 415°C, que se atribui à degradação da hemicelulose e posteriormente, da celulose. Em uma temperatura aproximada de 750°C, a lignina é degradada termicamente, devido a sua estrutura formada de macromoléculas tridimensionais, tornando-a mais resistente ao calor.

De acordo com o estudo de Corradi (2013), que verificou a degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria, os componentes da madeira como celulose e hemicelulose são degradadas em temperaturas distintas, sendo que no primeiro momento, ocorre a perda de água da biomassa. A degradação da lignina é fracionada, os compostos mais complexos, como os grupos carboxílicos são consumidos em temperaturas elevadas.

A perda de massa em diferentes temperaturas é decorrência da composição da biomassa, visto que cada composto é degradado em uma determinada temperatura. Por isso, observa-se no gráfico da figura 18 mais de um declínio

A análise de degradação térmica da serragem de angelim pedra está diferente do estudo de Pereira *et al.*, (2013) que verificou na curva de TG a degradação térmica da madeira de Eucalyptus, que após a perda de água as temperaturas de degradação foram menores ao da serragem, segundo os autores, a degradação da hemicelulose ocorreu em temperaturas entre 278 e 280°C e da celulose, entre 342 e 347°C e a lignina finalizou por volta de 450°C

Já a autora Paz (2017), ao estudar a fibra de coco, verificou que a biomassa apresentou declínio de perda de massa no intervalo de 25 a 120°C, referindo-se a perda de água, no intervalo de 200°C até 450°C observou uma degradação maior da biomassa, relacionada a perda de componentes como celulose e hemicelulose e parte da lignina e a partir de 500°C, apresentando outra perda, em temperatura superior, que está relacionada aos compostos mais estáveis da lignina.

A partir da análise da TG da biomassa angelim pedra, observa-se que a lignina é o composto mais estável, e sua degradação ocorre em temperaturas entre 400 e 800°C. Desta forma, visando o melhor rendimento do carvão, o processo de pirólise precisa estar dentro desta faixa, proporcionando uma maior produção de carvão.

5.2 Rendimento das Frações Obtidas Durante a Pirólise de Serragem

Os resultados experimentais obtidos no planejamento fatorial 2^{4-1} são apresentados na Tabela 20. Nesse planejamento foram investigados os seguintes fatores: temperatura, vazão de alimentação do gás inerte, Tempo e taxa de Aquecimento.

Nos rendimentos porcentuais das frações obtidas no processo de pirólise foram considerados as respostas do planejamento experimental. Na Tabela 20, a diferença do rendimento para complementar os 100 % deve-se as perdas de bio-óleo e finos de carvão no sistema, bem como a massa de extrato-ácido que foi produzida no processo e não quantificado nesse planejamento.

Tabela 20 - Resultados do Planejamento 2^{4-1} obtidos para as frações sólida e líquida durante a pirólise de serragem em reator de leito fixo.

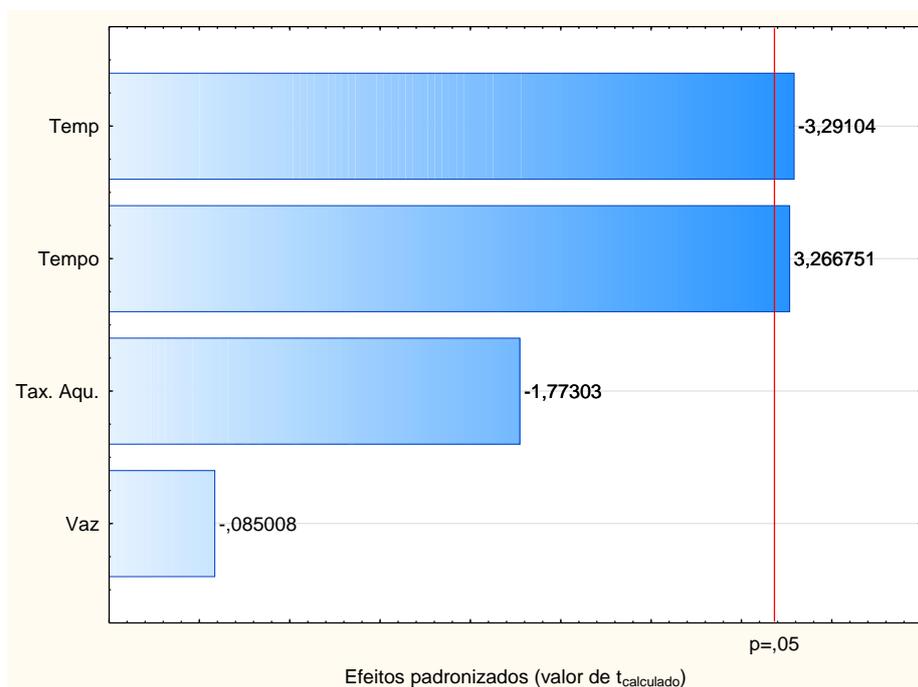
Ensaio	Fatores				Rendimento	
	Temp. (°C)	Taxa de Aq. (°C /Min)	Vazão do gás (mL/Min)	Tempo (Min.)	Carvão (%)	Bio-Óleo (%)
7	500	20	4	30	25,9	36,13
6	550	10	4	30	24,75	35,2
5	500	10	4	60	29,71	34,95
1	500	10	1	30	28,98	43,94
3	500	20	1	60	28,76	41,05
2	550	10	1	60	27,40	49,26
4	550	20	1	30	22,97	53,4
8	550	20	4	60	26,67	47,02

Fonte: Autora, (2018)

*Temp – Temperatura; Aq – Aquecimento; Min – Minuto

O diagrama de Pareto representado na Figura 19, gerado a partir dos dados do planejamento fatorial 2^{4-1} indica que o aumento da temperatura de 500°C para 550°C provocou uma redução do rendimento do carvão. Com relação ao tempo, observa-se que quanto maior o tempo de pirólise, melhor é o rendimento do carvão. Logo dentre os parâmetros submetidos para a biomassa de serragem, visando produção de carvão, pode-se optar pela menor temperatura, e maior tempo de pirólise.

Figura 19 - Representação do Diagrama de Pareto obtido do planejamento fatorial 2^{4-1} para a obtenção de carvão a partir da pirólise de serragem



Fonte: Autora, (2018)

Também é possível verificar no diagrama de Pareto que o maior tempo proporcionou um rendimento mais significativo. Mas a taxa de aquecimento, e a vazão do gás não apresentaram efeitos significativos durante o processo da pirólise da biomassa estudada e ao nível de confiança estudado para o rendimento do carvão. Visto que a taxa de aquecimento e a vazão do gás não influenciaram no rendimento do carvão, pode usar a menor vazão do gás proporcionando maior quantidade de pirólise e a maior taxa de aquecimento para acelerar o processo e o maior tempo de pirólise, assim possibilita um melhor rendimento na produção de carvão.

5.3 Caracterização do Carvão

5.3.1 pH

Comparando o resultado do pH do carvão do angelim pedra com o estudo de outros autores, é possível observar uma variação entre os objetos de estudo. A Tabela 21 apresenta um valor neutro para o pH do carvão de angelim pedra.

Tabela 21 - Resultado da análise da pH do carvão de serragem.

Variável	Resultado desta pesquisa	Outros autores	
		Paiva, 2014	Loureiro, 2012
pH	7,61	5,86-carvão de Eucalyptus	7,93 (carvão ativado granular – CA1) *

Fonte: Autora, (2018)

* CA1 – Fabricante 1 – carvão sem identificação específica.

O valor do pH do carvão estudado por Loureiro (2012), que é de um carvão ativado, próximo ao pH do carvão do angelim pedra, que é um valor considerado neutro. Estes valores indicam ausência de grupos ácidos nas amostras, mas o estudo de Paiva, (2014) encontrou o pH do carvão vegetal levemente ácido. É possível observar que são características inerentes aos carvões provenientes de biomassas diferentes, dando resultados diversificados.

5.3.2 Densidade Aparente do Carvão

O valor da média da densidade aparente do carvão de serragem de angelim pedra e de outros autores estão na Tabela 22.

Tabela 22 - Resultado da densidade aparente do carvão de serragem.

Experimento	Média	Desvio Padrão	Outros autores (densidade)	
			Valcarengue e Ribeiro, (2013)	Loureiro, 2012
Densidade	0,179	0,0015	0,63+/-0,01 (carvão ativado granular)	0,59 (carvão ativado granular)

Fonte: Autora, (2018)

Loureiro (2012) caracterizou diferentes tipos de carvão e observou que a densidade está relacionada à granulometria e ainda destacou que o carvão moído (pulverizado) é mais compacto que o carvão granular, assim confere uma menor densidade. Portanto, observando os valores da média encontrada no carvão de serragem de angelim pedra em comparação com os demais autores, há uma diferença significativa, podendo ser justificada devido à granulometria do carvão em estudo com os demais.

5.3.3 Análise Imediata

Na Tabela 23 apresentam-se os resultados obtidos nas análises imediatas do carvão de serragem de Angelim pedra.

Tabela 23 - Resultado da análise imediata do carvão de serragem.

Variáveis	Resultados desta pesquisa		Outros autores	
	Média	Desvio Padrão	Linhares <i>et al.</i> , (2016) casca de acácia negra	Menezes (2013) Pinus sp
Cinzas	3,42	0,255	3,8	4,42
Umidade	2,297	0,103	57,6	11, 3 %
Material Volátil	41,04	0,54	76,2	4,42%
Carbono Fixo	53,04	0,41	20,1	91,15%

Fonte: Autora, (2018)

As cinzas estão relacionadas aos minerais presentes no carvão vegetal. O baixo valor encontrado no carvão estudado indica que há poucos minerais, um indicativo de ser um carvão de boa qualidade. Valor semelhante ao de Linhares *et al.*, (2016) que expressa em seu trabalho como um fator positivo para produção de carvão ativado, pois, os minerais desfavorecem o processo de adsorção devido as suas características hidrofílicas.

O teor de umidade depende da origem do carvão, sendo que há uma discrepância relevante nos valores, em relação a outros estudos, como é o caso de Linhares *et al.*, (2016) que, ao estudar a casca de acácia negra, encontrou um valor elevado no carvão estudado.

A determinação de carbono fixos e material volátil é de fundamental importância para um processo de obtenção de energia, sendo que o carbono fixo está relacionado ao poder calorífico superior, com sua estabilidade e a resistência térmica do carvão vegetal. E o teor de material volátil elevado sugerem que a estrutura do carvão vegetal apresenta níveis de porosidade elevada e baixa densidade (REIS *et al.*, 2012).

5.3.4 Análise Elementar (CNH)

A Tabela 24 apresenta os resultados para análise elementar do carvão em estudo, que tem resultados semelhantes a outros trabalhos.

Tabela 24 - Análise elementar do carvão de serragem e outras madeiras

Variável	Resultado desta pesquisa	Outros autores	
		Nobre (2013) carvão de Ipê	Nobre (2013) carvão de Massaranduba
Carbono (C) %	74,36	81,61	79,67
Hidrogênio (H) %	2,96	3,15	2,69
Nitrogênio (N) %	0,55	1,63	0,55
Oxigênio (O) %	22,13	13,59	17,04

Fonte: Autora, (2018)

O estudo de Nobre (2013), que analisou diferentes espécies em temperaturas variadas, constatou que quando há mudança de temperatura, há alteração na composição elementar do carvão, mesmo sendo da mesma espécie. Outro fator que contribui para os valores distintos, são as biomassas de diferentes espécies. Os valores comparados com o do presente trabalho são de Ipê e Massaranduba.

As análises imediatas e elementar de uma matéria está diretamente relacionada com seu poder calorífico. A composição do carvão em estudo tem variáveis correlacionadas que, de acordo com sua proporção, indica ser um produto de boa qualidade energética, por exemplo, quanto maior a quantidade de hidrogênio menor será o valor de poder calorífico inferior do carvão e quanto maior o carbono fixo, melhor é o poder calorífico (GONÇALVES, 2010).

5.3.5 Análise da Área Superficial (BET/N₂)

Ao correlacionar os resultados das análises de BET e MEV com a classificação da *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), observa-se que o carvão de serragem de angelim pedra tem semelhança com poros do tipo “A” que são poros abertos e conforme o seu tamanho, são microporos com diâmetro de 1,65 nm. Esse tipo de poro proporciona alta capacidade de adsorção de moléculas com dimensões pequenas.

Ao comparar o carvão de angelim pedra com outros autores, é possível ressaltar a diferença entre as espécies estudadas e a diferença do carvão antes e após processo de ativação. Observa-se que há uma diferença na área superficial, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25 - Área superficial, distribuição e volume dos poros.

Variáveis	Resultados desta pesquisa	Outros Autores (Linhares, Marcilio e Melo 2016)		
		C/05	C/20	CA
Área superficial (m ² /g)	1,43819 m ² /g	12,35	40,80	905,68
Volume do poro cm ³ /g	0.00123416 cm ³ /g	0,05	0,04	0,27
Diâmetro dos poros	1,65 nm	-	-	-

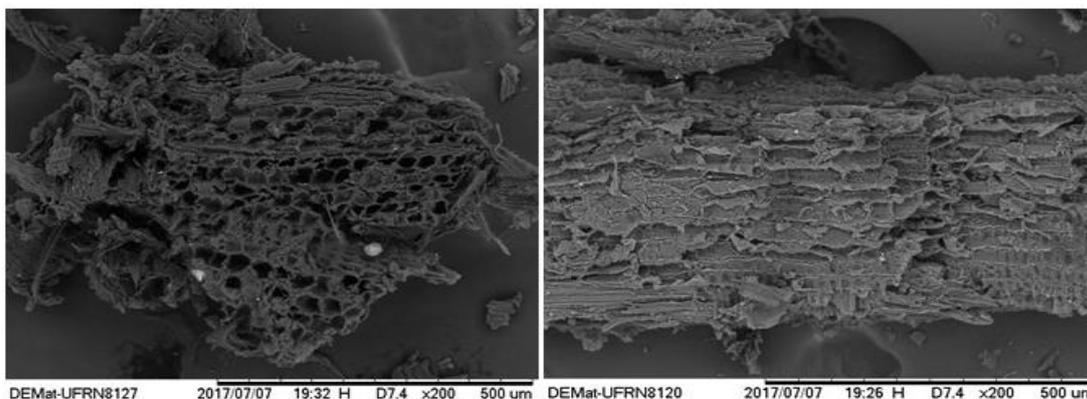
Fonte: Autora, (2018)

O estudo dos autores Linhares, Marcilio, Melo (2016) que foi voltado ao carvão da casca da acácia negra caracterizado antes e após ser submetido ao processo de ativação química, verifica-se uma melhora na área superficial bem nítida, isto justifica porque o carvão ativado adsorve melhor quando comparado com um carvão vegetal, pois a desobstrução dos poros ao sofrer um processo de ativação aumenta o seu potencial de adsorção.

5.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

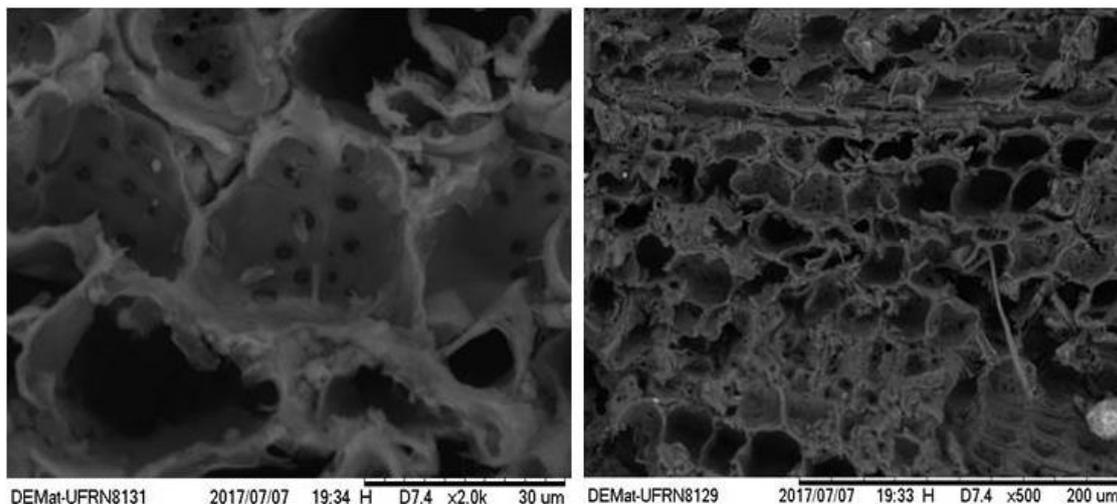
Nas Figuras 20 e 21 estão imagens do carvão de serragem de angelim pedra e apresentam os poros em diferentes ampliações.

Figura 20 - Microfotografia do carvão de serragem de angelim pedra com ampliação de x200.



Fonte: Autora, (2018)

Figura 21 - Microfotografia do carvão com ampliação de 2.0K e x500.



Fonte: Autora, (2018)

Relacionado a classificação da IUPAC na figura 6 e as imagens das figuras 20 e 21, é possível observar que os poros do carvão de angelim pedra tem semelhança com os poros do tipo “A”, que são classificados como poro aberto, também há alguns minerais presentes no carvão de serragem.

5.3.7 Determinação de Carbono Orgânico Total (COT)

A Tabela 26 informa a média dos valores de carbono orgânico encontrado na análise do carvão de serragem, e a relação entre o percentual de carbono total da análise elementar para encontrar o percentual de carbono inorgânico contido no carvão de serragem de angelim pedra.

Tabela 26 - Valores de Carbono Orgânico no carvão de serragem e de outro estudo.

Variável	Resultado desta pesquisa	Outros autores
		Paz (2017) carvão de fibra de coco da Baía
Carbono Total (%)	74,37	69,32
Carbono Orgânico Total (%)	46,5	47,033
Carbono Inorgânico (%)	27,9	22,287

Fonte: Autora, (2018)

O carbono está diretamente relacionado com a qualidade do carvão e seu poder calorífico, que são características importantes para avaliar o potencial energético do carvão em estudo (PAZ, 2017).

O carbono orgânico e carbono inorgânico são determinados na análise elementar. Na Tabela 24, é possível observar que o percentual de carbono inorgânico é significativo, apesar de esperar que praticamente todo o carbono disponível no carvão seja de fonte orgânica. O carbono inorgânico deve estar relacionado com o CO₂ do ciclo do carbono absorvido pela planta para produção de glicose e de carbonatos e bicarbonatos próprios do solo em que ocorreu o cultivo da espécie.

Comparando os resultados do carvão de angelim pedra e o do trabalho de Paz (2017), que caracterizou o carvão de fibra de coco da Baía, é possível observar que são valores próximos, tendo uma diferença maior apenas no carbono total, dados que indicam que os dois carvões apresentam boa qualidade e alto potencial energético.

5.3.8 Índice de Azul de Metileno

A análise de índice de azul de metileno tem como finalidade verificar a capacidade adsorptiva do carvão em estudo. Seguindo a norma JIS 1474, que avalia se há porosidade no carvão conforme o tamanho da molécula do corante usado, foi possível construir os gráficos das figuras 22 e 23.

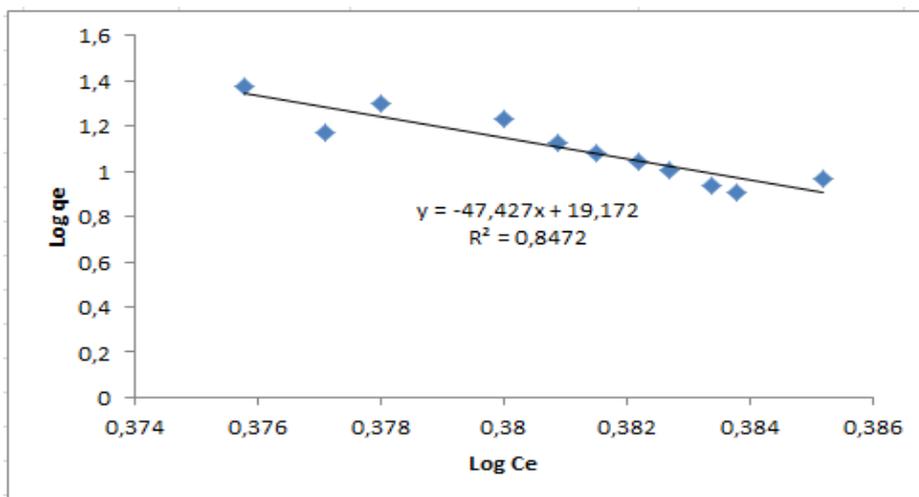
O processo de adsorção sofre influência de diversos fatores, tais como a temperatura, pH e pressão, além da natureza do adsorvente e do adsorbato. A capacidade de adsorção de um determinado carvão está relacionada à sua área superficial, ao teor de cinzas, à existência, tamanho e distribuição dos poros (COUTO, 2009).

Com a adsorção de azul de metileno foi possível avaliar a interação do carvão como corante, compreendendo esta interação é possível propor o melhor uso do carvão de angelim pedra. Relacionando a concentração do adsorbato (azul de metileno) e a massa de carvão (adsorvente) usada no processo de adsorção obtém-se a quantidade de adsorbato adsorvida em uma amostra.

Diante dos resultados obtidos na adsorção de azul de metileno tem-se os gráficos lineares apresentados nas figuras 22 e 23 que representam os modelos de Freundlich e Langmuir,

Na Figura 22 está a análise do equilíbrio segundo as isotermas de adsorção do modelo de Freundlich.

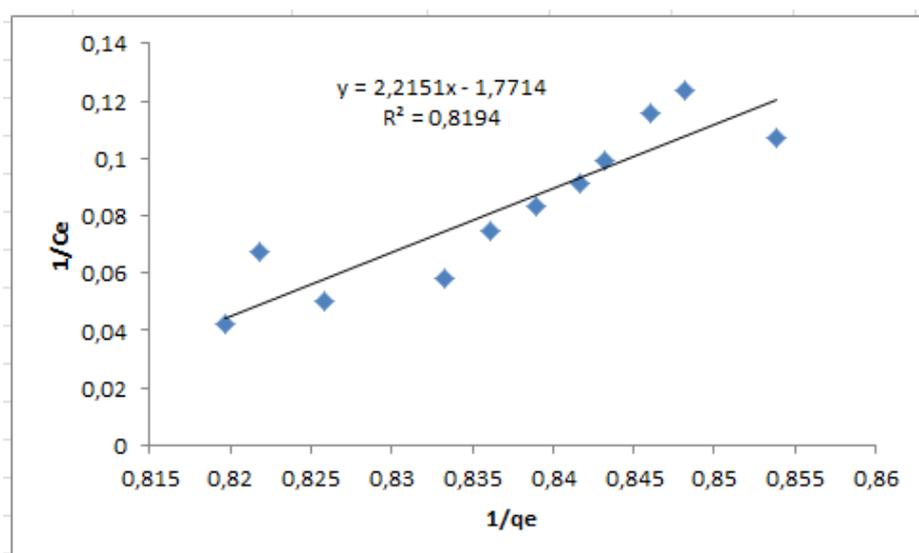
Figura 22 - Isotermas Freundlich para adsorção de azul de metileno



Fonte: Autora, (2018)

Na Figura 23 está a análise do equilíbrio segundo as isotermas de adsorção do modelo de Langmuir.

Figura 23 - Isoterma de Langmuir para adsorção de azul de metileno



Fonte: Autora, (2018)

Ao analisar a curva da reta no modelo de Langmuir, observa-se que o coeficiente de correlação (R^2) é de 0,8194, portando inferior ao (R^2) encontrado na isoterma de Freundlich.

Isto significa que o modelo de Freundlich apresenta coeficiente de correlação mais próximo de 1, mostrando ser uma melhor adequação ao modelo.

5.4 Resultados dos Testes de Filtração em Bancada com os filtros de carvão de Serragem e Comercial

Os resultados dos testes de bancada realizados em jar-test para verificar a eficiência do carvão de angelim pedra em comparação com o carvão comercial estão na figura 22, obtidos pela leitura de absorvância em função do tempo.

5.4.1 Resultado da Caracterização da Água bruta

A água utilizada para os ensaios em filtro apresentou as características da Tabela 27. Em um sistema de tratamento de água, estas características são importantes para saber a qualidade da água que chega ao reservatório e a partir destes resultados, são tomadas decisões para otimizar o sistema de tratamento de água.

Tabela 27 - Resultado da caracterização da água bruta.

Parâmetro	Resultado
Absorvância	0,527
Determinação de cor aparente (uH)	187
Cor verdadeira (uH)	99
Turbidez (NTU)	23,0
pH	7,26
Temperatura (°C)	29,2
Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	4
Sólidos Totais (mg/L)	60,5
Sólidos Voláteis (mg/L)	45,5
Sólidos Fixos (mg/L)	12
Cloretos (mg/L)	5,77
Alumínio (mg/L)	0,035
Ferro mg/L	0,83
Manganês (mg/L)	2,8

Nitrato (mg/L)	0,2
Nitrito (mg/L)	0,006
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,2
COT (mg/L)	2,3
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,43
Fosforo (mg/L)	0,37
Coliformes totais nmp/100ml	>1000

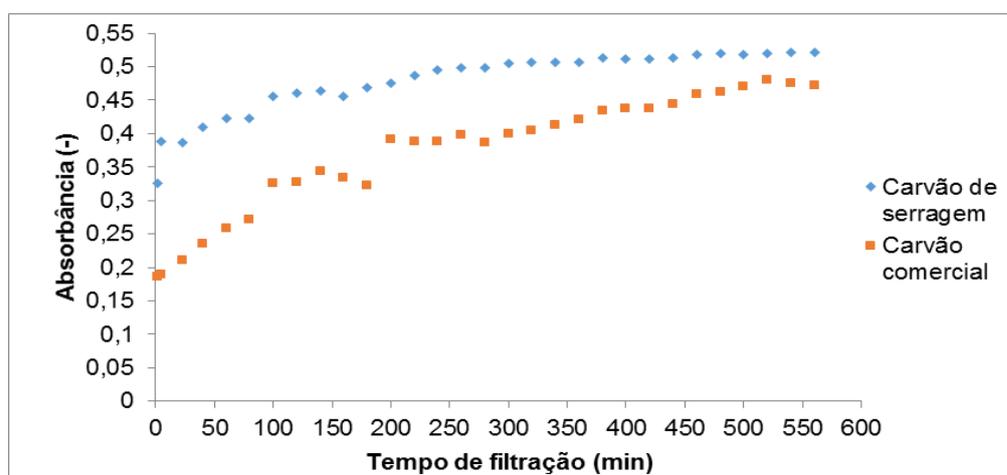
Fonte: Autora, (2018)

Para o resultado da análise de Carbono orgânico total, tendo como método indireto de identificação de matéria orgânica as leituras de Absorbância. Foi possível identificar valores significativos conforme legislação vigente, na amostra de água bruta, como mostra a Tabela 27.

5.4.2 Resultados das Análises de Absorbância da água filtrada

Como método indireto para identificar a presença de matéria orgânica na água, foram realizadas análises de absorbância até saturação dos filtros. A diferença da qualidade dos carvões analisados está na Figura 24.

Figura 24 - Representação dos filtros de carvão comercial e de serragem.



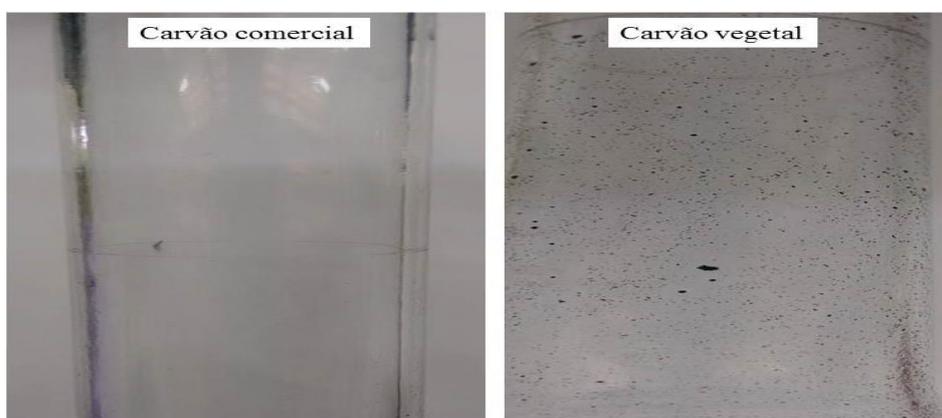
Fonte: Autora, (2018)

É possível observar no início do processo de filtração que a leitura de absorbância foi de 0,326 para o filtro do carvão vegetal e de 0,186 para o carvão comercial, após duas horas

foi de 0,461 e 0,328 para os respectivos carvões. E com uma média de quatro horas de funcionamentos dos filtros houve uma estabilidade entre os dados experimentais obtidos com os dois filtros, como mostra a figura 25.

A diferença entre os carvões justifica-se, pois, além do carvão comercial ser ativado, foi observado que o carvão vegetal ainda possuía alguns resquícios de bio-óleo, como mostra a Figura 25. Também se espera que o carvão ativado apresente uma melhor qualidade do que o carvão vegetal. Sendo que o processo de ativação tem a finalidade de tornar o carvão mais poroso e aumentar sua eficiência de remoção de impurezas do material filtrado.

Figura 25 - Amostra de carvão comercial e carvão vegetal em balão volumétrico.



Fonte: Autora, (2018)

O bio-oleio presente no carvão vegetal indica que a lavagem do carvão foi insuficiente para removê-lo, com isso diminuindo a sua eficiência nos filtros.

6 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pelas análises da biomassa e do carvão em estudo, é possível constatar que a serragem apresenta características favoráveis para produção de carvão.

O carvão produzido também apresenta qualidades satisfatórias quanto aos resultados das análises, podendo ser uma opção para produzir carvão ativado a partir desta biomassa.

As equações de retas demonstram que o modelo que mais se ajustou foi o de Freundlich, pois apresentou o R² mais próximo de 1. O modelo de Langmuir mostra uma interação de natureza química entre a superfície do carvão e a solução de azul de metileno.

Fazendo uma correlação dos resultados obtidos em laboratório, juntamente com os testes de bancada foi possível verificar que o carvão de serragem de angelim pedra apresentou qualidade satisfatória, pois a quantidade de matéria orgânica adsorvida nos filtros foi visível nas primeiras horas. Após este tempo, o carvão vegetal e o carvão comercial apresentaram uma remoção constantes até a saturação do carvão vegetal, que ocorreu após 10 horas de funcionamento.

Os resultados obtidos corroboram de forma positiva, indicando o potencial da utilização do carvão de serragem de angelim pedra para remoção de matéria orgânica em amostra de água.

TRABALHOS FUTUROS

É necessário realizar Ativação física e química do carvão de serragem de angelim pedra para verificar a diferença antes e após a ativação.

A caracterização do carvão após o processo de ativação, também faz-se necessário para verificar as mudanças ocorridas, principalmente em relação a quantidade e distribuição de poros.

Também é muito importante realizar testes de adsorção com o carvão em estudo e comparar sua eficiência com o carvão comercial.

Visto que o produto em estudo é de grande relevância comercial, é necessário realizar estudos e verificar a viabilidade econômica para produzir o carvão em escala comercial.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2015**. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acessado em 11 de outubro de 2017.
- ACR. **Associação Catarinense de Empresas Florestais. Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina**. 2016. Disponível em: http://www.apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2017/03/ACR_Anuario-Estatistico-Florestal-ACR-2016.pdf. Acessado dia 12 de outubro de 2017.
- ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. **Caracterização dos impactos econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro paulista XLVI Congresso Brasileiro de Economia, Administração e Sociologia Rural 2008** disponível em: www.sober.org.br/palestra/9/691 Acesso em: 09/04/2014.
- ANEEL – **Agencia Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, Carvão Mineral**. 2016. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par3_cap9.pdf. Acesso em 26 de set. de 2017.
- ANDRADE, Robson Carlos de. **Preparação e Caracterização de Carvão Ativado a partir de Material Alternativo Lignocelulósico**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - Ms, 2014.
- ANJOS, Alvine Viviane Silva Oliveira dos. **Gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares na sede do município de mata de São João - BA**. 2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.
- ANTUNES, Maria Lucia Pereira; CAMARGO, STEFAN Rodrigues Guedes de; JESUS Carolina Petrisin de; RUSSO Ana Carolina. Estudo da Utilização de Serragem de Madeira Como Adsorvente para Tratamento de Efluentes Têxteis. **Revista de Estudos Ambientais (online)**, Sorocaba, Sp, v. 12, n. 2, p.6-14, dez. 2010.
- ARRUDA, Pedro Paulo de; SILVA, Aluzimar Oliveira da; MARTINEZ, Rubens Gargiulo. **Utilização de Resíduos de Madeira como Elemento Construtivo**. Entac - Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído. Juiz de Fora, 2012.
- BASU, Prabir. **Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory**. Amsterdam: Academic Press Is An Imprint Of Elsevier, 2010. 364 p.
- BIANCHI, O.; CASTEL, Charles Dal; OLIVEIRA, Ricardo V. B. de; BERTUOLI, Paula T.; HILLIG, Everton. **Avaliação da degradação não-isotérmica de madeira através de termogravimetria-TGA**. Porto Alegre, 2010.
- BRAND, Martha Andreia; MUNIZ, G. I. Bolzon de; SILVA, Dimas Agostinho da; KLOCK, Umberto. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2002.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 que institui a política nacional de resíduos sólidos.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 12 de out. de 2017.

BRASIL, **Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 2011.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde.** – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and Energy**, p. – 27, 2001.

CARRERO, Gabriel Cardoso; PEREIRA, Raylton dos Santos; JACAÚNA, Marcelo do Amaral; JUNIOR, Manuel de Jesus Vieira Lima. . **Árvores do Sul do Amazonas: Guia de espécies de interesse econômico e ecológico.** Manaus: Idesam, 2014. 116 p.

CARVALHO, M. B.; VIEIRA, G. E. G. Características e utilização de adsorvente carbonoso obtido em processo de pirólise a partir de lodo de ETE – uma revisão. **Biomassa & Energia**. v. 4. n. 2. 113-120 p. 2011

COUTO, Gabriela Martucci. **Utilização da Serragem de Eucalyptus na Preparação de Carvão Ativado. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado)** - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BRITO, José Otávio. Carvão vegetal no Brasil: Gestões Econômicas e Ambientais. **Estudos Avançados**, São Paulo, p.221-227, 1990.

CALDERAN, Thanabi Bellenzier. "**Consórcio público Intermunicipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domésticos: um estudo de caso**". 2013. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/303>>.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P.E.N. **Métodos e técnicas de tratamento de água. 3ª ed.** São Carlos: Rima, 2017. 1246 p.

FALEIROS, Ricardo de Jesus Ribeiro. **Uso de carvão ativado pulverizado para remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de água superficial.** 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto- Unaerp, Ribeirão Preto, 2008.

FARAG, I. H.; LACLAIR, C. E.; BARRETT, C. J. Technical, environmental and economic feasibility of bio-oil in New Hampshire's North Country. **Final Report, University of New Hampshire**, p. 1-95, 2002.

GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Estudo da Pirólise Rápida de Capim Elefante em Leito Fluidizado Borbulhante Mediante Caracterização dos Finos de Carvão.** 2002. 412 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas-unicamp, Campinas, 2002.

CRUZ, Juliana Cunha da. **Evolução tecnológica das rotas de gaseificação e pirólise de materiais lignocelulósicos: um estudo bibliométrico**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2012

DI BERNARDO, Luiz; BRANDÃO, Cristina Célia S; HELLER, Léo. **Tratamento de Águas De Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. Prosab, Rio de Janeiro 1999.

FALEIROS, R.J.R. **Uso de Carvão Ativado Pulverizado para Remoção dos Herbicidas Diuron e Hexazinona de Água Superficial**. Ribeirão Preto: Universidade de Ribeirão Preto. 2008.

FAO. **Food And Agriculture Organization Of The United Nations Global Forest Resources Assessment**. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>. Acessado em 12 de outubro de 2017.

FERREIRA, Gracialda Costa; GOMES, Joaquim Ivanir; HOPKINS, Michael Jonh Gilbert. Estudo anatômico das espécies de Leguminosae comercializadas no estado do Pará como “angelim”¹. **Acta Amazonica**, Belém - Pa, v. 3, n. 34, p.387-398, mar. 2004.

FIGUEIREDO, A. L. **Pirólise termoquímica de pó da fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bioóleo**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia do Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

GENTIL, L.V.B. **Tecnologia e Economia do Brique de Madeira**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. DF. 195p. 2008.

GIMENEZ, Iara de Fátima; FERREIRA, Odair Pastor; ALVES, Oswaldo Luiz. Desenvolvimento de Ecomateriais: Materiais Porosos para Aplicação em Green Chemistry (Química Verde). **Researchgate**, Campinas, Sp, v. 3, n. 5, p.110-127, jan. 2004.

GONÇALVES, José Evaristo. **Avaliação Energética e Ambiental de Briquetes Produzidos com Rejeitos de Resíduos Sólidos Urbanos e Madeira de Eucalyptus Grandis**. 2010. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agronomia “energia na Agricultura”, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu – Sp, 2010.

HIRAMATSU, Nelson Akira. **Equações De Volume Comercial Para Espécies Nativas Na Região Do Vale Do Jari, Amazônia Oriental**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

HUMMEL, A. C., Alves, M. V. da S., Pereira, D., Veríssimo, A., & Santos, D. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém: Imazon, 2010. 32 p.

IUPAC. **Recommendations Pure and Applied Chemistry**: Research Triangle Park, n. 57, p. 603-619. 1985.

JARDIM, Juliana Marangon. **Potencial Energético de Diferentes Biomassas Agroflorestais**. 2014. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Minas Gerais, 2014.

KOZAK, Pedro Altamir; CORTEZB, Alison Moura; SCHIRMERC, Waldir Nagel; CALDEIRAD, Marcos Vinicius Winckler; BALBINOT, Rafaelo. Identificação, Quantificação e Classificação dos Resíduos Sólidos de uma Fábrica de Móveis. **Revista Acadêmica, Ciências Agrárias Ambiental**, Curitiba, v. 6, n. 2, p.203-212, jul. 2008.

KURODA, Emília Kiyomi; ALBUQUERQUE JÚNIOR, Eden Cavalcanti de DI BERNARDO, Luiz; TROFINO, Júlio César. **Caracterização e Escolha do Tipo de Carvão Ativado a ser Empregado no Tratamento de Águas Contendo Microcistinas**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

LEITE, Edson Rubens da Silva. **Madeira e Carvão de coffea arábica L: Caracterização para uso energético**. 2013. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LINHARES, Felipe de Aguiar; MARCÍLIO, Nilson Romeu; MELO, Pedro Juarez. **Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química**. Scientia Cum Industria, Rio Grande do Sul, v. 4, n. 2, p.74-79, set. 2016.

LOUREIRO, Lorena Frasson. **Avaliação da adsorção do herbicida 2,4-D em carvão ativado em pó e granular por meio de análises de isotermas de adsorção utilizando diferentes qualidades de água**. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado em Poluição do Ar, Recursos Hídricos, Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

LUNARDI, Layane Martins. **Remoção de Corantes Têxteis Por Adsorção com Pó de Serragem de Pinus sp**. 2014. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná– Ufpr, Campo Mourão, 2014.

MANCHESTER, Ronaldo Serafim Abreu Silva; RODRIGUES, Jairo Lisboa; BOMFETI, Cleide Aparecida; GONÇALVES, Andrea Manchester Pereira de Mello; CARLOS, Thauana de Macedo. Determinação da qualidade da água de Minas na área urbana do Município de Teófilo Otoni - MG - Brasil. **Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas**, Minas Gerais, v. 03, maio 2013.

MENEZES, Marta Juliana Schmatz. **Poder Calorífico e Análise Imediata da Maravalha de Pinus (Pinus Sp) e Araucária (Araucaria Angustifolia) de Reflorestamento Como Resíduos de Madeireira**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Cascavel, 2013.

MIMURA, Aparecida Maria Simões; SALES, Janilson Ribeiro Castro; PINHEIRO, Paulo César. Atividades Experimentais Simples Envolvendo Adsorção sobre Carvão. **Química Nova na Escola**, Palmas, v. 32, n. 1, p.53-56, set. 2010.

MONACO, Paola A. Lo. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.116-119, 2004.

MORAIS, João Paulo Saraiva; ROSA, Morsyleide de Freitas; MARCONCINI, José Manoel. **Procedimentos para Análise Lignocelulósica**. Campina Grande, Pb: Embrapa Algodão, 2010. 54 p.

MOURA, Laís Simões de. **Avaliação da Qualidade Ambiental da Água e Sedimento de Quatro Mananciais de Abastecimento Público do Estado de Goiás**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; MELO Diego de Quadros; VIDAL, Carla Bastos; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. **ADSORÇÃO: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2014. 256 p.

NIEDERSBERG, Carolina. **Ensaio de Adsorção com Carvão Ativado Produzido a Partir da Casca do Tungue (Aleurites Fordii), Resíduo do Processo de Produção de Óleo**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc, Santa Cruz do Sul, 2012.

NOBRE, João Rodrigo Coimbra; CASTRO, Jonnys Paz; MOTTA, Javan Pereira; BIANCHI, Maria Lúcia, TRUGILHO, Paulo Fernando; BORGES, Willian Miguel da Silva; MOULIN, Jordão Cabral. Produção de carvão ativado de resíduo madeireiro da região Amazônica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p.895-906, dez. 2015.

NOBRE, João Rodrigues Coimbra. **Produção e Qualidade do carvão ativado de resíduos madeireiros de espécies do Estado do Pará**. 2013. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

OLIVEIRA, Lucas Santos de. **Estudo Químico e Biológico da Madeira de Lei Humenolobium Petraeum (Angeim Pedra)**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011

OLIVEIRA, Luciana Machado. **O Princípio da Participação Ambiental no Processo de Transposição do Rio São Francisco**. 2007. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Direito, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

OLUOTI, Kehinde Olubukola. **Investigating the Reaction Kinetics of Tropical Wood Biomass: A Prospect for Energy Recovery**. 2016. 71 f. Tese (Doutorado) -, University Of Borás, Borás, 2016.

PAES, Juarez Benigno; LIMA, Carlos Roberto de; OLIVEIRA, Elisabeth de; SANTOS, Heric Cavalcanti Mascarenhas dos. Rendimento e Caracterização do Carvão Vegetal de Três Espécies de Ocorrência no Semiárido Brasileiro. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 1, p.1-10, maio 2012.

- PAIVA, Diogo Mendes de. **Características físico-químicas do carvão vegetal oxidado e seu efeito nas perdas e suprimento de nitrogênio em mistura com ureia**. 2014. 69f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.
- PAIXÃO, Carolina Pereira Sathler; FERREIRA, Elvino; STACHIW, Rosalvo. Produção e destinação dos resíduos gerados em serrarias no município de Rolim de Moura - RO. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, Rondônia, v. 3, n. 1, p.47-56, 2014.
- PANZIERA, André Gonçalves; VASCONCELLOS, Noeli Julia Schüssler de; ESTEFANEL, Valduíno; PEIXOTO, Sandra Cadore, SWAROWSKY, Alexandre. Viabilidade do Uso de Materiais Alternativos em Filtro de Água Para Reúso. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 03, n. 16, p.371-385, dez. 2015.
- PAZ, Elaine da Cunha Silva. **Padronização das Condições de Degradação Termogravimétrica da Fibra de Coco em Reato de Leito Fixo na Produção de Carvão**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto- UNAERP, Ribeirão Preto, 2017.
- PEDROZA, Marcelo Mendes. Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos em Processo De Pirólise. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.2, p. 184-207, 2017.
- PEDROSA, Marcelo Mendes. **Bio-óleo e biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. 2011. 236 f. Tese (Doutorado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira; TRUGILHO, Paulo Fernando; MELO, Isabel Cristina Nogueira Alves; OLIVEIRA, Aylson Costa. Estudo da Degradação Térmica da Madeira de Eucalyptus Através de Termogravimetria e Calorimetria. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p.567-576, jun. 2013.
- PEREIRA, Denys; SANTOS, Daniel; VEDOVETO, Mariana; GUIMARÃES, Jayne; VERÍSSIMO, Adalberto. **Fatos florestais da Amazônia 2010**, – Belém, PA: Imazon, 2010. 126 p.
- PEREIRA, José Carlos Duarte; STURION, José Alfredo; HIGA, Antonio Royei; HIGA, Rosana Clara Victória; SHIMIZU, Jarbas Yukio. **Características da Madeira de Algumas Espécies de Eucalipto Plantadas no Brasil**. Colombo - Pr: Gráfica Radial, 2000. 113 p.
- PEREIRA, Elaine Inácio. **Produção de carvão ativado a partir de diferentes precursores utilizando FeCl₃ como agente ativante**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- PINTO, Edna Moura; CALIL JUNIOR, Carlito. Estudo Teórico e Experimental Sobre a Degradação Térmica e os Gradientes Térmicos da Madeira de Eucalyptus de uso Estrutural Exposta ao Fogo. **Pesquisa e Tecnologia**, Minerva, p.131-140, out. 2003.
- REIS, Aliny Aparecida dos; MELO, Isabel Cristina Nogueira Alves de; PROTÁSIO, Thiago de Paula; TRUGILHO, Paulo Fernando; Carneiro, Angélica de Cássia Oliveira. Efeito de

Local e Espaçamento na Qualidade do Carvão Vegetal de um Clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**, Lavras/mg, v. 5, n. 19, p.497-505, dez. 2012.

REIS, Aliny Aparecida dos; PROTÁSIO, Thiago de Paula MELO, Isabel Cristina Nogueira Alves de;; TRUGILHO, Paulo Fernando; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s.l.], v. 32, n. 71, p.277-290, 28 set. 2012. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.277>.

RODRIGUES, Thiago Oliveira. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de bio-óleo a partir de serragem no estado do Pará**. 2013. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2013.

SÁNCHEZ, M.E.; MENÉNDEZ, J.A.; DOMÍNGUEZ, A.; PIS, J.J.; MARTÍNEZ, O; CALVO, L.F.; BERNAD, P.L. Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 33, n. 6-7, p.933-940, jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.02.002>.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v.61, n.5, p.469-477, 2007.

SANTOS, Adriana da Silva. **Panorama do comércio de madeira serrada e perspectivas para o comércio de madeira certificada na Microrregião Geográfica de Florianópolis**. 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011

SANTOS, Jeferson Meira dos. **Preparação e Caracterização de Carvão Ativado Quimicamente a Partir de Serragem da Madeira de *Pinus Elliottii* e Aplicação na Adsorção do Corante Remazol Amarelo Ouro**. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Mestrado em Química Aplicada, Universidade Estadual do Centro-oeste – Unicentro, Guarapuava, 2015.

SHIE, J., LIN, J., CHANG, C., LEE, D., WU, C. Pyrolysis of oil sludge with additives of sodium and potassium compounds. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 39, p. 51-64, 2003.

SCHMITZ, Michele. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domésticos: Estudo de Caso na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do Município de Estrela/Rs**. 2012. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

SCHNEIDER, Jaderson K.; CUNHA, Michele E.da; SANTOS, Anaí L.dos; MACIEL, Gabriela P.S.; BRASIL, Márcia C.; PINHO, Andrea R.; MENDES, Fábio L.; JACQUES, Rosângela A.; CARAMÃO, Elina B. Comprehensive two dimensional gas chromatography with fast-quadrupole mass spectrometry detector analysis of polar compounds extracted from the bio-oil from the pyrolysis of sawdust. **Elsevier**, Porto Alegre, Rs, Brazil, v. 3, n. 9, p.236-240, abr. 2014.

SILVA, Giulliano Guimarães. **Tratamento de Água de Reservatório por Dupla Filtração, Oxidação e Adsorção em Carvão Ativado Granular**. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Programa de Pós Graduação em Ciência do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins - Uft, Palmas, 2009.

SOARES, Homero. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila_GRS.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

SOUZA, Ramara S.; CHAVES, Lúcia H. G.; FERNANDES, Josely D.. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de zinco em solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife - Pe, v. 2, n. 2, p.123-127, jun. 2007.

TUOTO, M. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio as Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Curitiba, 2009.

VALCARENGHI, Gustavo; RIBEIRO, Luiz Felipe Prata. **Adsorção de azul de metileno de solução aquosa com utilização de pó de serragem de mdf e madeirite e carvão ativado granular**. 2013. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ZENID, Geraldo José. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009. 103 p.