



SOFIA ANDRADE E SOUZA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO
ENDOCARPO LENHOSO DE *SYAGRUS ROMANZOFFIANA*
(JERIVÁ): APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE**

**LAVRAS – MG
2019**

SOFIA ANDRADE E SOUZA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO ENDOCARPO LENHOSO DE
SYAGRUS ROMANZOFFIANA (JERIVÁ): APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia dos Alimentos para obtenção do título de Bacharel.

Prof (a). Dr(a). Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo
Orientadora

Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2019**

SOFIA ANDRADE E SOUZA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO ENDOCARPO LENHOSO DE
SYAGRUS ROMANZOFFIANA (JERIVÁ): APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTE**

**ACTIVATED CHARCOAL PRODUCTION FROM SYAGRUS ROMANZOFFIANA
CLOTHING ENDOCARBUS (JERIVÁ): APPLICATION IN THE TREATMENT OF
EFFLUENT**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia dos Alimentos para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 24 de Junho de 2019.

Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo

DCA – UFLA

Mestranda Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira

DCA – UFLA

Dr. Cleiton Antônio Nunes

DCA – UFLA

Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo
Orientadora

Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2019**

Á Deus que iluminou o meu caminho por toda essa jornada. Aos meus pais e meus irmãos que são meus exemplos, pelo amor, incentivo, apoio incondicional, sem vocês eu não poderia realizar mais este sonho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, por me iluminar, conduzir e ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades.

Aos meus pais, Jacy e Tayza, agradeço pelo amor incondicional, pelo apoio que me foi dado a vida toda sem pedir nada em troca e também por não medirem esforços para me ver feliz e ter meus sonhos realizados. Ao meu irmão Lucas, que sempre teve junto a mim, me apoiando em tudo, sua companhia é um presente, sem ela eu não teria conseguido conquistar tudo que conquistei, obrigada por todos os conselhos e que apesar das brigas eu te amo muito. Ao meu irmão mais novo Artur, tão pequeno e que mesmo sem saber me ajuda a ter forças para continuar e realizar mais um sonho, amo muito você.

Às minhas avós Ana Rosa e Maria Helena, que sempre me dão exemplos de que devemos enfrentar as dificuldades com amor e com respeito ao próximo, vocês são um orgulho pra mim.

Ao meu avô, José Andrade, que sempre vai estar comigo onde estiver, agradeço muito a Deus por ter sido sua neta, sinto muita falta da sua presença e de seus ensinamentos, obrigada por tudo que aprendi com o senhor, o senhor sempre será meu exemplo. A toda minha família, agradeço as orações e apoio.

Ao Departamento de Ciências dos Alimentos (DCA-UFLA) pela oportunidade de aprendizagem, condições de ensino e pesquisas.

À minha orientadora Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo (DCA-UFLA) agradeço pelo apoio durante mais de um ano na iniciação científica, pelas conversas e conselhos que foram de grande importância em minha caminhada acadêmica.

À minha coorientadora Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira pela imensa ajuda, conversas e conselhos no decorrer do trabalho.

Ao órgão de fomento FAPEMIG pela bolsa de iniciação científica e financiamento do projeto.

Aos meus amigos de Ibiá, muito obrigada pela amizade, sem vocês com certeza não seria tão realizada como sou hoje, vocês foram de grande importância na minha vida acadêmica. Agradeço diariamente por Deus ter colocado cada um de vocês em meu caminho.

Aos amigos que fiz em Lavras, obrigada pela ajuda de sempre, pelas festas, reuniões e companheirismo durante essa jornada.

E a todos que de forma direta e indireta me ajudaram e acreditaram no meu potencial, os meus sinceros agradecimentos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças à Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

A busca por materiais precursores para a produção de carvão ativado que sejam de baixo custo vem sendo investigada, juntamente com a aplicação dos carvões para o tratamento de efluentes. Desta forma, este trabalho teve como objetivo geral produzir um carvão ativado a partir do endocarpo lenhoso de *Syagrus Romanzoffiana* (jerivá) e avaliar o seu potencial de uso no tratamento de efluentes via adsorção. O material precursor foi caracterizado quanto aos teores de cinzas e avaliado quanto à termogravimetria (TGA). Os carvões foram preparados pelo método de ativação química, utilizando o ácido fosfórico (H_3PO_4) como agente de ativação. O rendimento do carvão ativado produzido foi calculado e este foi caracterizado quanto ao TGA, calorimetria exploratória diferencial (DSC), ponto de carga zero (PCZ), capacidade de troca iônica, teor de cinzas, espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os carvões foram aplicados no tratamento de efluentes obtidos da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Verificou-se que o material precursor possui teor de 0,6514% de cinzas e o rendimento do carvão produzido foi de 43,53%. A análise de TGA indicou uma perda de massa em três etapas do material precursor, associadas à perda de água (81,65 °C), degradação da celulose (256,04 °C) e da lignina (430,06 °C) até a carbonização do material. O PCZ correspondeu ao pH igual a 2,0, caracterizando o carvão como ácido e com maior conteúdo de grupos ácidos. A capacidade de troca iônica com a superfície do carvão foi igual a 0,13 mol/kg e o teor de cinzas do carvão foi de 0,9505%. Na análise de área superficial (BET) e porosidade verificou-se a predominância de mesoporos e uma área superficial grande de 1526,56 m²/g. Através do MEV observou-se que o carvão ativado possui uma superfície rugosa e irregular. Por meio dos ensaios de adsorção verificou-se que o carvão ativado foi eficiente no tratamento do efluente, foi feita uma análise de variância (ANOVA) seguida do teste de comparação de médias Tukey ($p < 0,05$) em que todos os parâmetros avaliados (DBO, DQO, cor e turbidez) foram afetados significativamente. O endocarpo lenhoso de jerivá apresentou potencial para ser utilizado como material precursor do carvão ativado, apresentando potencial para serem empregados para adsorção de efluente.

Palavras-chave: Carvão Ativado. Adsorção. Efluente. Jerivá, *Syagrus Romanzoffiana*.

ABSTRACT

The search for precursor materials for the production of activated carbon that are low cost has been investigated, along with the application of the charcoal for the treatment of effluents. In this way, the objective of this work was to produce activated charcoal from the woody endocarp of *Syagrus Romanzoffiana* (jerivá) and to evaluate its potential use in the treatment of liquid effluents by adsorption. The precursor material was characterized for ash content and evaluated for thermogravimetry (TGA). The charcoal were prepared by the chemical activation method, using phosphoric acid (H_3PO_4) as the activating agent. The yield of the activated carbon produced was calculated and was characterized as TGA, DSC, zero load point (PCZ), ion exchange capacity, ash content, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (MEV). Charcoal were applied in effluent adsorption tests. It was found that the precursor material had 0.6514% ash content and the yield of the charcoal produced was 43.53%. TGA analysis indicated a loss of mass in three stages of the precursor material, associated with water loss (81,65 °C), degradation of cellulose (256,04 °C) and lignin (430,06 °C) until carbonization of the charcoal. PCZ equal to pH 2.0 characterized charcoal as acid and with higher content of acid groups. The ion exchange capacity with the charcoal surface was 0.13 mol / kg and the charcoal ash content was 0.9505%. In the surface area analysis (BET) and porosity, the predominance of mesopores and a relatively large surface area of 1526.56 m² / g were observed. Through the SEM it was observed that activated charcoal has a rough and irregular surface. By means of the adsorption tests it was verified that activated charcoal was efficient in the treatment of the effluent, an analysis of variance (ANOVA) was done followed by the comparison test of Tukey averages ($p < 0.05$) in which all evaluated parameters (DBO, DQO, color and turbidity) were significantly affected. The woody endocarp of jerivá presented potential to be used as precursor material of the activated charcoal, presenting potential to be used for adsorption of effluent.

Keywords: Activated Carbon. Adsorption. Effluent. Jerivá

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1. Jerivá (<i>Syagrus Romanzoffiana</i>).....	14
3.2. Carvão Ativado.....	14
3.3. Adsorção.....	16
3.4. Efluentes.....	17
3.5. Tratamento de Efluentes por Adsorção	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1. Materiais	19
4.2. Síntese dos Carvões Ativados	19
4.2.1. Preparação do Material Precursor	19
4.2.2. Preparação dos Carvões Ativados	19
4.2.3. Determinação do Rendimento	20
4.3. Caracterização do Carvão	20
4.3.1. Termogravimetria (TGA).....	20
4.3.2. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	20
4.3.3. Ponto de Carga Zero (PCZ)	20
4.3.4. Capacidade Iônica	21
4.3.5. Determinação do Teor de Cinzas.....	21
4.3.6. Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (FTIR).....	22
4.3.7. Análise de Área Superficial (BET) e Porosidade.....	22
4.3.8. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	22
4.4. Ensaio de Adsorção de Efluente no Carvão Ativado	22
4.4.1. Ensaios de Adsorção.....	22
4.4.2. Análise de Cor Real.....	23
4.4.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	23
4.4.4. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. Rendimento do Carvão	25

5.2.	Teor de Cinzas do Material Precursor	25
5.3.	Termogravimetria (TGA).....	25
5.4.	Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	28
5.5.	Ponto de Carga Zero (PCZ)	28
5.6.	Capacidade Iônica.....	30
5.7.	Teor de Cinzas	30
5.8.	Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (FTIR).....	30
5.9.	Análise de Área Superficial (BET) e Porosidade.....	31
5.10.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	34
5.11.	Ensaio de Adsorção	34
6.	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

Os processos industriais resultam em grande quantidade de resíduos, tanto líquido quanto sólidos que, dependendo do ramo da indústria, podem apontar grande quantidade de matéria orgânica, nitrato, amônia, elevado teor de sólidos, óleos e graxas, além de contaminantes tóxicos como metais tóxicos e hidrocarbonetos. São utilizadas rotas físico-químicas e biológicas para o tratamento desses efluentes, visando à diminuição dos contaminantes, que podem ter elevados custos. A aplicação de novos métodos, que diminuam custos e aumentem a eficiência na redução das cargas poluidoras são essenciais (DANTAS, 2014).

O carvão ativado possui a capacidade de adsorver seletivamente gases, líquidos e impurezas no interior de seus poros, devido a isso são amplamente utilizados no processo de filtração (ALVES, 2012). É um material carbonáceo caracterizado por sua área de superfície interna, porosidade altamente desenvolvida e vários grupos funcionais na superfície (SAHU; ACHARYA; MEIKAP, 2010).

Para produção de carvão ativado, podem ser destacados dois métodos: ativação física e ativação química. Na ativação química o material precursor é banhado com uma solução de um agente de desidratação (por exemplo, cloreto de zinco, ácido sulfúrico, hidróxido de potássio ou ácido fosfórico) (PEZOTI et al., 2014). Já a ativação física o material precursor é ativado e carbonizado através de altas temperaturas e sob o fluxo de um gás (nitrogênio ou dióxido de carbono) (DEMIRAL et al., 2011). As vantagens da ativação química em relação à física são obtenção de materiais com maior área superficial, incorporação de grupos funcionais na superfície do material, menor tempo de ativação, maior rendimento e menor temperatura de pirólise (HORIKAWA et al., 2010).

Para o tratamento de água e efluentes, o carvão ativado é o adsorvente mais utilizado por apresentar maior eficiência na adsorção de contaminantes. Apesar disso, sua utilização torna-se muitas vezes difícil, devido às perdas no processo de recuperação do adsorvente e alto custo de produção. Diante disso, há um elevado interesse no uso de materiais alternativos de baixo custo para produzir carvão ativado (GONÇALVES et al., 2007; AUTA; HAMEED, 2011).

Jerivá é a denominação popular da espécie *Syagrus Romanzoffiana* que pertence à família *Arecaceae* e, por ser de fácil adaptação em diferentes tipos de solos e climas, é a palmeira mais encontrada no Brasil (MEEROW, 1991). Segundo Coimbra e Jorge (2011), a polpa do jerivá possui um alto valor nutricional, ricos em carboidratos, vitaminas (A e E) e

fibras. Além da polpa que corresponde 59,29% do fruto, o jerivá é composto por endocarpo (36,73%) e semente (amêndoa) (3,98%) (GOUDEL, 2012). Tendo em vista que boa parte da composição deste fruto é descartada, observa-se que a aplicação do endocarpo, principal resíduo, como material precursor na elaboração de carvão ativado se apresenta como uma aplicação interessante.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo utilizar o endocarpo lenhoso do jerivá como material precursor para a produção de carvão ativado, com posterior aplicação na adsorção dos contaminantes presentes no efluente proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Produzir um carvão ativado a partir do endocarpo lenhoso de jerivá (*Syagrus Romanzoffiana*).

2.2. Objetivos Específicos

- Produzir carvões ativados quimicamente a partir do endocarpo lenhoso do Jerivá;
- Caracterizar os carvões em termos de suas propriedades térmicas, morfológicas e químicas;
- Aplicar o carvão ativado na adsorção de matéria orgânica presente no efluente da ETE-UFLA;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Jerivá (*Syagrus Romanzoffiana*)

A família das plantas *Arecaceae* é constituída por palmeiras com uma vasta importância para a população que a cultiva, gerando alimentos de diferentes formas, além de madeiras, fibras e outros subprodutos (CLEMENT; LLERAS; VAN, 2005). O Brasil possui aproximadamente 500 espécies nativas de palmeiras, podendo possuir frutos de pequeno ou grande porte com o pericarpo liso ou com aspecto espinhoso (LABORATORIO OIKOS, 2007). O jerivá é a denominação popular da espécie *Syagrus Romanzoffiana* e pertence à família *Arecaceae* e, devido a sua vasta adaptabilidade em diferentes tipos de solos e climas é a palmeira mais encontrada no Brasil (MEEROW, 1991).

Essa espécie apresenta inflorescência em cachos pendentes e produz cerca de 800 frutos por cacho (GALETTI; PASCHOAL; PEDRONI, 1992). Tais frutos são ovoides, com polpa fibrosa e suculenta de cor amarelo-alaranjado quando maduros. Dentro de cada fruto encontra-se uma única semente protegida por um endocarpo lenhoso e rígido (LORENZI, 2002). É uma espécie-chave em partes da Mata Atlântica, sendo explorado por vários animais devido ao seu néctar floral, frutos e sementes (ALVES-COSTA, 2004). De acordo com Goudel (2012), o fruto maduro apresenta 9,21 mg/100g de vitamina C e uma composição centesimal com umidade, lipídio, proteína, cinzas e carboidratos totais em torno de 65,41%, 2,42%, 4,00%, 1,22% e 92,36%, respectivamente.

A dispersão dos frutos da *Syagrus Romanzoffiana* é feita por animais, processo chamado de zoocoria (OLMOS et al., 1999). Esta palmeira oferece alimento para uma ampla classe de animais como antas, jacus, macacos, esquilos, entre outros, proporcionando assim à dispersão das sementes para locais mais distantes promovendo a germinação e colonização (GUIZ; RUIZ, 2000).

3.2. Carvão Ativado

O carvão ativado (CA) é obtido devido à desidratação, seguida de ativação e carbonização da matéria prima. O CA se destaca na classe dos sólidos porosos, apresentando uma ampla aplicação tecnológica. Por causa de sua estrutura porosa e capacidade de adsorver gases, líquidos e vapores o carvão ativado tem sido bastante estudado (JABIT, 2007). Possui forma microcristalina, sólido normalmente amorfo e microporoso com grande área superficial e pode conter em sua estrutura elementos como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio que são responsáveis pela formação dos grupos funcionais em sua superfície (GONÇALVES et al.,

2007). A capacidade de adsorção do carvão ativado é influenciada pelas características já citadas, assim como pela distribuição de tamanho e volume dos poros (DENG et al., 2010; HESASA et al., 2013). A eficiência da adsorção também pode ser afetada pela presença de grupos funcionais que se localizam na superfície do carvão e proporcionam características ácidas e básicas para a superfície. Esses grupos funcionais podem ser constituídos por carboxilas, lactonas e fenóis que proporcionam as características ácidas, e por piranos, éter, hidroxilas e carbonilas que proporcionam as características básicas (BANDOSZ, 2006).

Os precursores utilizados para produção do carvão ativado podem ser de origem vegetal, animal ou mineral, como por exemplo a madeira, cascas de coco e banana, bagaço de laranja, ossos de animais, petróleo, plástico e material betuminoso, sendo fundamental que contenha alto teor de carbono (CALGON, 2011).

Para produção de carvão ativado os resíduos agroindustriais são amplamente utilizados visto que resultam em adsorventes de baixo custo, favorecendo a redução dos custos na eliminação dos resíduos. Por apresentarem principalmente celulose e baixo teor de cinza em sua composição os resíduos agroindustriais demonstram capacidade para adsorverem diversos poluentes (BHATNAGAR; SILLANPPA, 2010). A elevada concentração de materiais voláteis fornece um adsorvente altamente poroso, contribuindo, assim para adsorção de moléculas maiores (OKMAN et al., 2014; DJILANI et al., 2015).

O carvão ativado pode ser classificado de acordo com sua forma física pulverizado (pó) e granulado. O carvão pulverizado é usado como adsorvente para meios aquosos, remoção de cheiros, cor, etc. Já o granulado é utilizado para remoção de gases (CENDOFANTI; PAWLOWSKY, 2005).

De acordo com Pezoti et al. (2014) a produção dos carvões ativados envolvem dois passos: ativação do material precursor, seguida da carbonização do mesmo. A carbonização é um processo de degradação térmica do material carbonáceo eliminando as espécies não carbônicas, o precursor é submetido a altas temperaturas, variando de 400 a 850 °C, produzindo uma massa fixa de carbono e é desenvolvido poros estreitos e fechados.

O processo de ativação tem como principal objetivo melhorar a qualidade dos poros, aumentando o diâmetro e a área superficial, pode ser realizado por via química ou física (BRITO, 2016).

Na ativação química o precursor é banhado com uma solução de um agente de desidratação (por exemplo, cloreto de zinco, ácido sulfúrico, hidróxido de potássio ou ácido

fosfórico) seguido por um tratamento térmico em elevadas temperaturas (de 400°C a 900°C) sendo a carbonização e ativação realizadas simultaneamente (PEZOTI et al., 2014).

No processo de ativação física o material precursor é ativado e carbonizado através de altas temperaturas e sob o fluxo de um gás (nitrogênio ou dióxido de carbono) (DEMIRAL et al., 2011). A variação da temperatura pode chegar entre 800°C a 1100°C. O fluxo de gás é ideal para oxidação do material, produzindo poros e liberando os já existentes (HORIKAWA et al., 2010).

A ativação química tem como principais vantagens uma menor temperatura de pirólise, maior rendimento e obtenção de material com maior área superficial específica (DIAS et al., 2007). Já as desvantagens estão relacionadas com a utilização de produtos químicos corrosivos tornando indispensável realizar uma lavagem extra no final do processo (YU; ZHONG, 2006; KALUDJEROVIC et al., 2014). Contudo, as vantagens da ativação química excedem as desvantagens, sendo ela a mais utilizada para a produção do carvão ativado (YORGUN; VURAL; DEMIRAL, 2009; ZYOUD et al., 2015).

3.3. Adsorção

O processo de adsorção e utilização industrial de adsorventes não é um estudo recente. Na segunda metade do século XVIII os materiais adsorventes foram descobertos, devido à observação da adsorção de gases por carvão ativado. Durante a primeira guerra mundial em consequência da adsorção de gases tóxicos também foi utilizada máscaras com carvão ativado para proteção (FRANCHI, 2004).

Segundo Rodrigues (2002), o uso da adsorção como um processo de purificação, chamou atenção de muitos pesquisadores e desde o início do século XIX começaram os estudos da adsorção desde seus princípios fundamentais até sua aplicação prática.

A adsorção é uma operação de transferência de massa, onde uma ou mais substâncias alvo (adsorbato) em um meio líquido ou gasoso se difundem para superfície sólida de um sólido poroso (adsorvente) (MOHAN; PITTMAN JR, 2006).

Diversos fatores podem afetar a adsorção, tais como: velocidade da agitação do sistema, temperatura, polaridade do solvente, relação sólido-líquido, tamanho das partículas do sólido, características físico-químicas do adsorvente e adsorbato e impurezas na superfície do adsorvente (HAGHSERESHT et al., 2002).

Há dois tipos de adsorção: a adsorção química, que abrangem reações químicas, e a adsorção física, que envolvem forças eletrostáticas. Na adsorção química ocorre a formação de ligações químicas entre o adsorbato (contaminantes presentes no efluente por exemplo) e o

adsorvente (carvão ativado). Durante o processo de adsorção química, também chamada de quimissorção os elétrons são transferidos ou compartilhados entre o adsorvato e a superfície do adsorvente, formando uma ligação química entre ambos sob forma mais intensa. (MACEDO, 2012). A adsorção física decorre da ação de interações intermoleculares que são relativamente fracas (interações de Van der Waals), na qual as moléculas de uma substância são retidas na superfície de um sólido poroso (adsorvente), não ocorrendo a formação de ligações covalentes (MACEDO, 2012).

3.4. Efluentes

O despejo de efluentes, principalmente industriais e domésticos, em recursos hídricos, está ligado diretamente a questão de sustentabilidade. Dentre os principais fatores de degradação da qualidade da água, destaca-se a poluição ocasionada pelo lançamento de efluentes oriundos dos mais diversos meios em corpos receptores (BELTRAME; LHAMBY; BELTRAME, 2016).

Para que os efluentes sejam lançados no meio ambiente ou reutilizados, os mesmos devem atender a padrões estipulados por normas, legislações, resoluções, entre outros. Em nível nacional há a Resolução CONAMA nº 430/2011 que complementa e altera a Resolução nº 357/2005, que dispõe sobre condições, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, colocando limites máximos para os diferentes poluentes nos corpos d'água.

Os efluentes podem ser classificados como efluentes domésticos ou efluentes industriais.

Os efluentes domésticos são originários das residências, hotéis, bares, clubes e centros comerciais de serviços. São os resíduos provenientes de águas contaminadas, por resto de alimentos, fezes humanas, sabões e detergentes. Podem provocar contaminações por bactérias e contaminação por substância orgânica recalcitrantes, se despejados diretamente nos rios sem tratamento (ARCHELA, 2003).

Já os efluentes industriais são provenientes dos diferentes ramos da indústria, tem se tornado uma importante contribuição na degradação ambiental. Os principais contaminantes de origem industrial são os compostos orgânicos e inorgânicos, especialmente os metais pesados (ARCHELA, 2003).

O monitoramento da carga poluidora ou tóxica de efluentes é realizado, pela determinação de variáveis como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), cor, turbidez, etc (BELTRAME; LHAMBY; BELTRAME,

2016). A análise de DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas, ou seja, avalia a quantidade de oxigênio que será consumido pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica em dióxido de carbono e água (MACEDO, 2002). A DQO também expressa a presença de matéria orgânica degradada, porém, através de um agente químico, na medida de DQO estão contidas as substâncias biodegradáveis e substâncias não-biodegradáveis (DEZOTTI, 2008).

3.5. Tratamento de Efluentes por Adsorção

O carvão ativado é usado no tratamento de efluentes dos quais se pode extrair contaminantes nocivos. Pode ser usado na fase final do tratamento, removendo cor ou outros compostos específicos. Quando o carvão ativado é colocado em contato com o efluente, ocorre um decréscimo da concentração de matéria orgânica, sólidos solúveis e partículas coloidais no efluente e um aumento na concentração destes compostos sobre a superfície do carvão ativado, até ocorrer o equilíbrio (MUCCIACITO, 2006).

A utilização de adsorventes (carvão ativado) para o tratamento de efluentes tem sido bastante estudado como Florido (2011), que alcançou alta eficiência na remoção de compostos orgânicos utilizando CA em efluente de refinaria de petróleo. Machado (2010), obteve um resultado satisfatório de 98% de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) total e solúvel, 99% de remoção de compostos fenólicos, utilizando também carvão ativado para o tratamento de efluentes em uma refinaria de petróleo. Guerra et al. (2015) executaram estudos sobre Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular e obtiveram resultados satisfatórios mostrando que o carvão ativado granular de casca de coco manteve elevados percentuais de remoção da MC-LR. A avaliação potencial de compostos naturais (argila, turfa e carvão) na remoção de chumbo e toxicidade de um efluente industrial, realizado por Tomasella et al. (2015) em que os autores obtiveram resultados bastante eficientes, principalmente em relação a remoção de toxicidade aguda (carvão ativado 100% > argila A 58,4% > turfa orgânica 57,7 % > argila VP 55,2 %).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Separações e Purificações de Biomoléculas – DCA 17, do Departamento de Ciências dos Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

4.1. Materiais

Na síntese do carvão ativado foi utilizado o endocarpo lenhoso do jerivá como material precursor de carbono. O endocarpo do jerivá foi obtido como resíduo da extração de óleo da amêndoa na Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. O efluente foi obtido da Estação de Tratamento de Efluentes da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. Inicialmente, amostras de efluentes foram caracterizadas por meio de análises físico-químicas de cor, turbidez, DBO e DQO.

4.2. Síntese dos Carvões Ativados

4.2.1. Preparação do Material Precursor

Primeiramente o jerivá foi descascado para separar o endocarpo lenhoso da polpa. Em seguida, os endocarpos foram colocados em estufa a 80 °C durante 24 horas e posteriormente triturados com auxílio de almofariz e pistilo. O material sólido gerado foi utilizado como precursor para a síntese dos carvões ativados.

4.2.2. Preparação dos Carvões Ativados

Os carvões ativados foram obtidos através do método de ativação química e o agente desidratante utilizado foi o ácido fosfórico 85% (H_3PO_4). Para a síntese do carvão, inicialmente foi feita a impregnação do precursor (endocarpo lenhoso do jerivá) com o agente desidratante (H_3PO_4) na razão mássica de impregnação 1:3, respectivamente. As amostras foram então submetidas a uma pré-ativação em estufa a 80 °C por 24 horas e, em seguida, as mesmas foram carbonizadas em forno mufla a 500 °C durante 30 minutos sob atmosfera ambiente. Os carvões obtidos foram então lavados com solução de ácido clorídrico (HCl) 5 mol/L e mantidos nessa solução durante 20 minutos. Posteriormente, os carvões foram lavados com água destilada até que o pH da água residual atingisse a neutralidade. Por fim os carvões foram secos em estufa a 105 °C por 24 horas, peneirados em peneiras de abertura de 1 mm e armazenados para utilização (PEREIRA, 2014).

4.2.3. Determinação do Rendimento

O rendimento do processo de síntese dos carvões foi calculado através da equação 1:

$$R_c(\%) = \frac{m_c}{m_p} \times 100 \quad (1)$$

Sendo R_c o rendimento do carvão (%), m_c a massa (g) do carvão obtido e m_p a massa (g) do precursor.

4.3. Caracterização do Carvão

4.3.1. Termogravimetria (TGA)

Realizou análises termogravimétricas do material precursor e do carvão ativado. Para a análise utilizou-se de 3 a 5 mg de cada amostra. As análises termogravimétricas foram realizadas em um analisador DTA-TG 60A Shimatzu (Shimatzu Corporation, Kyoto, Japão). As amostras foram aquecidas de 34 °C a 750 °C em atmosfera de nitrogênio com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min

4.3.2. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

As análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC) foram feitas em um analisador DSC modelo TA 60 (Shimatzu Corporation, Kyoto, Japão). Aproximadamente 5 mg da amostra (carvão ativado) foi triturada, pesada e colocada em cápsula de DSC. Como referência foi usado uma cápsula vazia. A amostra foi aquecida de 27 °C a 250 °C com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min em atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mL/min.

4.3.3. Ponto de Carga Zero (PCZ)

A determinação do ponto de carga zero (PCZ) dos carvões ativados foi feita através da metodologia utilizada por Deolin et al. (2013). Pesou-se 0,02 g do adsorvente e o adicionou em 20 mL de solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl) 0,1 mol/L, sob 12 diferentes condições de pH inicial (1 a 12), ajustados com soluções de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L.

As misturas foram submetidas à agitação de 50 rpm a 25 °C e após 24 horas as soluções foram filtradas e o pH final da solução foi medido. O PCZ corresponde à faixa na qual o pH final da solução se mantém constante e igual ao valor do pH inicial da solução (DEOLIN et al. 2013).

4.3.4. Capacidade Iônica

A capacidade iônica dos carvões ativados foi determinada segundo metodologia proposta por Fontan et al. (2017), com algumas adaptações. Em cinco tubos de centrífuga de 50 mL foram pesados 0,05 g do carvão e adicionados 45 mL de uma solução de HCl 1,0 mol/L. Os tubos foram deixados em agitação a 25 rpm durante 12 horas a 25 °C. Em seguida, a solução foi retirada e os carvões foram submetidos a uma tripla lavagem com 45 mL de água deionizada, seguido de secagem em estufa a 105 °C por 12 horas.

Após secagem, os carvões foram retirados do filtro, recolocados nos tubos de centrifuga e adicionados de 45 mL de água deionizada. Os tubos foram então colocados em banho-maria sob agitação, a 25 °C, durante 3 horas. Em seguida, os tubos foram novamente levados para secagem a 105°C por 12 horas, resfriados, acrescidos de 45 mL de uma solução de NaCl 2,0 mol/L e deixados em agitação orbital a 25 rpm a 25 °C por 12 horas.

A solução recolhida em cada tubo foi titulada com uma solução padronizada de NaOH 0,01 mol/L. A solução de NaCl inicial também foi titulada, sendo considerado o branco.

Determinou-se então a capacidade iônica total em termos de massa de carvão (Λ_m), expressa em mol/kg, utilizando-se a equação 2:

$$\Lambda_m = \frac{V_T}{m} \left[\left(\frac{M_{NaOH} f V_{NaOH}}{V} \right)_{sol. NaCl das amostras} - \left(\frac{M_{NaOH} f V_{NaOH}}{V} \right)_{sol. NaCl inicial} \right] \quad (2)$$

Em que Λ_m é a capacidade iônica em mol/kg, V_T é o volume total de solução de NaCl em L, m é a massa de carvão em kg, M_{NaOH} é a concentração da solução de NaOH utilizada para titulação em mol/L, f é o fator de correção da solução de NaOH, V_{NaOH} é o volume da solução de NaOH gasto na titulação em L e V é o volume de solução titulada com NaOH em L.

4.3.5. Determinação do Teor de Cinzas

A determinação do teor de cinzas totais do material percussor foi realizada de acordo com a norma NBR 13999 (ABNT, 2003). Para isso, foram pesados 2 g do carvão em cadinhos de porcelana previamente calcinados, arrefecidos e pesados. As amostras foram levadas então à mufla para incineração a 500 °C. Após esta etapa foram calculadas as porcentagens de cinzas em relação à amostra que foi submetida ao processo de calcinação.

4.3.6. Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (FTIR)

Os carvões produzidos foram analisados por espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) utilizando o equipamento FT-IR Spectrometers Varian 600 – IR Series, com acessório GladiATR da Pike Technologies acoplado para medidas de Refletância Total Atenuada (ATR). A região do infravermelho analisado foi de 4000 cm^{-1} e 400 cm^{-1} e a resolução foi de 4 cm^{-1} .

4.3.7 Análise de Área Superficial (BET) e Porosidade

A isoterma de adsorção e dessorção do carvão ativado foi obtida em um equipamento Micromeritics modelo ASAP 2420, utilizando aproximadamente 0,20 g de amostra. Antes da medida, a amostra foi submetida a uma etapa de pré-tratamento, que consistiu no aquecimento a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Em seguida, as amostras foram submetidas a uma evacuação a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 min, seguida de um aquecimento, com taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, até $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, permanecendo nesta temperatura por 300 min. Posteriormente foi obtida isoterma de adsorção e dessorção de nitrogênio a $-196,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. A área superficial específica foi determinada pela equação BET (BRUNAUER; EMMET; TELLER, 1938). A distribuição do tamanho dos poros foi obtida utilizando o método de BJH (BARRET; JOYNER; HALENDA, 1951), enquanto que o volume dos mesoporos foi determinado pela análise t-plot (LIPPENS; LINSEN; BÔER, 1964).

4.3.8. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia dos carvões foi avaliada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os adsorventes foram secos em estufa a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 16 horas, e então manualmente fixados em pequenos stubs. As amostras foram, então, revestidas com uma camada de ouro em um metalizador por 180 segundos e examinadas através de um microscópio eletrônico de varredura (Modelo LEO EVO 40 XVP), com uma voltagem de aceleração de 20 kV.

4.4. Ensaio de Adsorção de Efluente no Carvão Ativado

4.4.1. Ensaio de Adsorção

Os ensaios de adsorção foram realizados em tubos de centrífuga adicionando-se 0,05 g do adsorvente e 50 mL do efluente coletado na Estação de Tratamentos de Efluentes da UFLA (ETE/UFLA). Os tubos foram deixados sob agitação de 50 rpm por um período de 24 h a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após esse período, os sobrenadantes foram recolhidos e filtrados para remoção das

partículas de adsorventes suspensas, sendo submetidos às análises físico-químicas de cor, turbidez, DBO e DQO.

4.4.2. Análise de Cor Real

A determinação da cor foi realizada de acordo com o Manual Prático de Análise de Água da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (BRASIL, 2013). Para isso, foram feitos padrões de cor na faixa de 5 a 50 unidades de cor, medindo 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0 e 7,0 mL da solução padrão (500 unidades de cor) e colocados em tubos de Nessler de 50 mL. Mediu-se 50 mL da amostra em outro tubo de Nessler e comparou-se com os padrões.

4.4.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A determinação da demanda bioquímica de oxigênio foi realizada mediante procedimento descrito na Norma Brasileira NBR 12614 (ABNT, 1992). Ajustou-se o pH das amostras entre 6,5 e 7,5. Foi preparado quatro diluições da amostra em uma proveta de 1000 mL cheias parcialmente com água de diluição, foi acrescentado em cada proveta o volume de amostra correspondente para obter as diluições e completou-se o volume com água de diluição. Foi transferido por sifonação a amostra diluída de cada proveta para dois frascos de DBO e foi adicionado 2 mL de solução de sulfato de magnésio e 2 mL da solução de iodeto e azida, após 15 minutos foi determinada a concentração de oxigênio dissolvido (OD), em uma das séries dos frascos e a outra série foi incubada a 20°C no escuro. Após cinco dias de incubação foi medido a concentração de OD₅ nos frascos.

Determinou-se a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) expressa em mg O₂/L utilizando-se a equação 3:

$$DBO = \frac{(OD_i - OD_5) \times 100}{\% \text{ amostra}} \quad (3)$$

Sendo, OD_i o oxigênio dissolvido inicial em mg/L, determinado antes da incubação e OD₅ oxigênio dissolvido em mg/L, determinado após cinco dias de incubação a 20°C.

As diluições foram determinadas a partir conjunto de equações 4, 5, 6 e 7.

$$P_3 = \frac{500}{DQO \text{ da amostra}} ; V_3 = 10P_3 \quad (4)$$

$$P_4 = 2P_3 ; V_4 = 10P_4 \quad (5)$$

$$P_2 = \frac{P_3}{P_2} ; V_2 = 10P_2 \quad (6)$$

$$P_1 = \frac{P_3}{P_4} ; V_1 = 10P_1 \quad (7)$$

Sendo P_1 , P_2 , P_3 e P_4 são as porcentagens de amostra da primeira à quarta proveta, respectivamente e V_1 , V_2 , V_3 e V_4 são os volumes (mL) de amostra da primeira à quarta proveta respectivamente.

4.4.4. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A determinação da demanda química de oxigênio foi realizada mediante procedimento descrito na norma NBR 10357 (ABNT, 1988). Em um balão de 250 mL foram adicionados 20 mL da amostra de efluente, 0,2 a 0,4 g de sulfato de mercúrio P.A., pérolas de ebulição, 10 mL de solução de ácido sulfúrico/sulfato de prata, 10 mL de solução padrão de dicromato de potássio 0,0417 mol/L e 20 mL de solução de ácido sulfúrico/sulfato de prata. O balão foi deixado em chapa quente por 2 horas. Em seguida, o conteúdo recolhido de cada balão foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal (0,25 mol/L). Para a amostra de efluente inicial, isento do tratamento com o carvão (prova em branco) procedeu da mesma forma.

Determinou-se então a demanda química de oxigênio (DQO) expressa em mg O_2/L utilizando-se a equação 8:

$$DQO = \frac{(A - B) \times M \times 800}{V} \quad (8)$$

Sendo, A o volume (mL) de solução padrão de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco, B o volume (mL) de solução padrão de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, M é a concentração molar da solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (mol/L) e V o volume (mL) da amostra.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rendimento do Carvão

O rendimento médio obtido na síntese de carvão ativado a partir da carbonização do material precursor foi de 43,53%. O alto rendimento obtido é justificado pela ativação química com H_3PO_4 , que favorece a produção de carvão (BRITO, 2016). Aznar (2011) obteve um rendimento médio de 35 a 50% na produção de carvão ativado a partir de grãos de café. Brito et al. (2017) reportaram um rendimento médio de 24% para os carvões ativados obtidos a partir de caroço de cajá e Linhares, Marcílio e Melo (2016) obtiveram um rendimento médio de 37,2% para os carvões ativados com H_3PO_4 a partir de resíduos de casca de acácia negra.

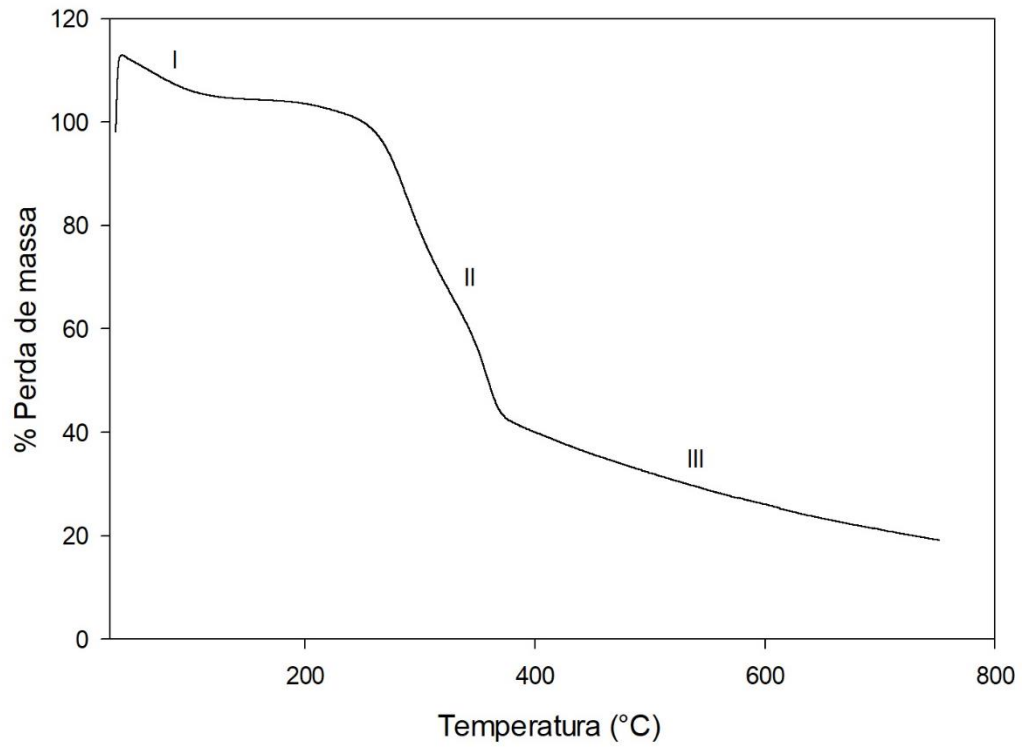
5.2. Teor de Cinzas do Material Precursor

O endocarpo lenhoso de jerivá apresentou um baixo teor de cinzas (0,6514%), o que é favorável para o processo de adsorção empregando o carvão ativado produzido a partir desse material precursor. O baixo teor de cinzas do endocarpo é um resultado positivo para o processo adsorptivo empregando carvões ativados, uma vez que os minerais presentes no carvão tendem a adsorver água em detrimento aos compostos de interesse (BRUM et al., 2008). Johari et al. (2016) encontraram um teor de cinzas em torno de 1,07% para fibra de coco da Malásia, enquanto Castro (2016) encontrou um teor de cinzas em torno de 0,59% para fibra de piaçava da Amazônia e 0,76% para fibra de piaçava da Bahia e Brum et al. (2008) encontraram um teor de cinzas de 1,37% nos resíduos do beneficiamento de café.

5.3. Termogravimetria (TGA)

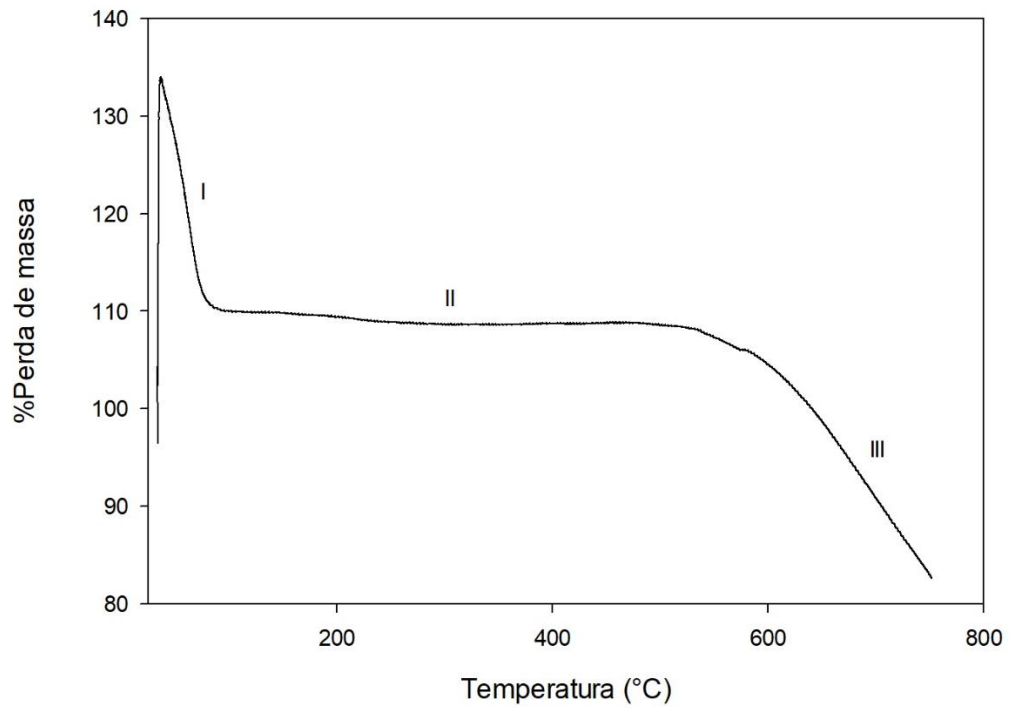
Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as curvas termogravimétricas (TGA) do material precursor (endocarpo do jerivá) e do carvão ativado.

Figura 1 - Resultados das análises termogravimétricas do endocarpo do jerivá



Fonte: Do autor (2019)

Figura 2 – Resultados das análises termogravimétricas do carvão ativado.



Fonte: Do autor (2019)

A análise termogravimétrica (TGA) apresenta a perda de massa do endocarpo do jerivá e carvão ativado em função da variação da temperatura.

De acordo com a Figura 1, nota-se que a perda de massa do endocarpo do jerivá ocorre em três etapas e não há degradação total. A primeira (I) etapa ocorre a uma temperatura média de transformação de 81,65 °C e é associada à perda de umidade e a degradação da fração mais reativa da hemicelulose, em que não houve uma perda de massa significativa. A segunda (II) etapa ocorreu na temperatura média de transformação igual a 256,04 °C, onde se inicia o processo de degradação da celulose, que se constitui no principal componente dos materiais lignocelulósicos, em que há um maior valor de perda de massa, de aproximadamente 55,43%. A terceira etapa (III) ocorre em temperaturas mais elevadas a degradação inicia em torno de 430,06 °C e está relacionado à degradação de grupos carboxílicos mais estáveis que se decompõem acima de 400 °C como a lignina, uma vez que este composto tem alta estabilidade térmica quando comparada à celulose e hemicelulose (KASTANAKI et al., 2002). A perda nesta etapa corresponde a 22,55%. Desta forma, 22,02% do material não é degradado. Hemicelulose, celulose e lignina são frações poliméricas dos materiais lignocelulósicos e constituem cerca de 97 a 99 % de toda massa seca dos materiais vegetais (BREBU; VASILE, 2010).

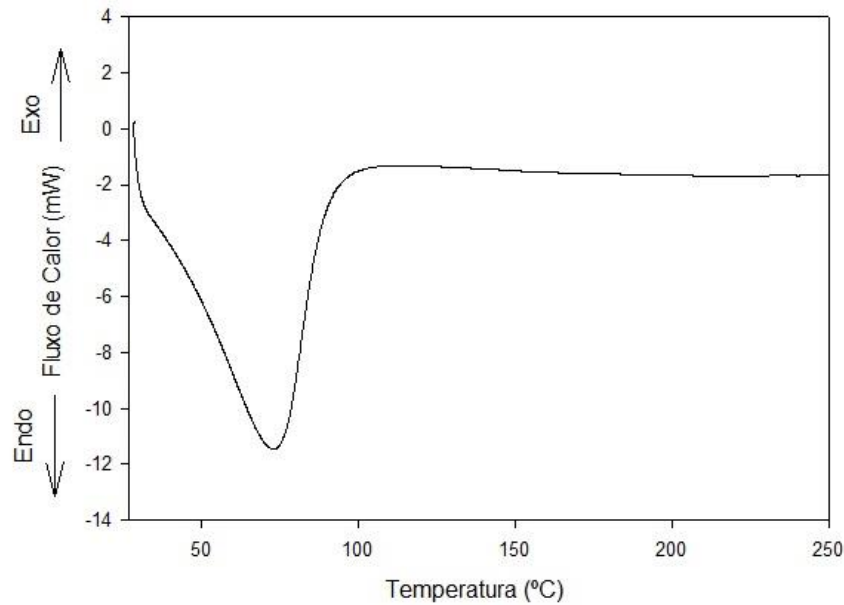
Nas análises termogravimétricas do carvão ativado (Figura 2) observa-se que na etapa (I) ocorre a perda de água na temperatura de 77,11 °C. A degradação do carvão, etapa (III) ocorre a uma temperatura média de transformação igual a 616,56 °C. Isso porque o carvão é um material mais resistente que o resíduo de jerivá e foi submetido a um processo de carbonização em mufla a 500 °C. Desta forma, qualquer constituinte com menor resistência térmica existente no carvão foi degradado durante a carbonização.

Na curva de perda mássica do carvão ativado é possível observar que não há degradação total do material (Figura 2) e não houve observância representativa das perdas de massa para o carvão de jerivá.

5.4. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Na Figura 3 é apresentada a curva de DSC do carvão ativado.

Figura 3 – Resultado obtido na análise de calorimetria diferencial de varredura do carvão ativado.



Fonte: Do autor (2019).

A partir da curva de DSC (Figura 3), observa-se um evento endotérmico a uma temperatura de fusão de 73,177 °C. Este pico pode ser atribuído a evaporação da água presente na amostra. Resultado em conformidade com as análises de TGA onde na primeira etapa de perda de massa é atribuída a evaporação de água.

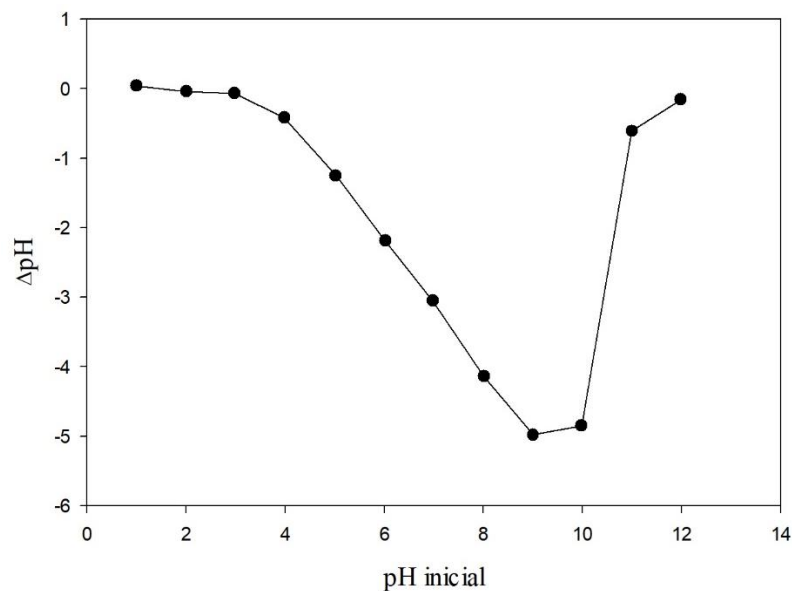
5.5. Ponto de Carga Zero (PCZ)

O ponto de carga zero (PCZ) determina a carga superficial do carvão e está relacionado com o agente de ativação utilizado, a temperatura de carbonização e tipo de atmosfera (SANTOS, 2018) e está representado na Tabela 1 e no gráfico da Figura 4.

Tabela 1 – Resultados obtidos para o ponto de carga zero (PCZ) do carvão ativado sintetizado a partir do endocarpo lenhoso de jerivá.

pH Inicial	pH Final	pH _{pcz}
1	1,02	0,02
2,01	2	-0,01
2,98	2,92	-0,06
3,98	3,55	-0,43
5,02	3,74	-1,28
6,02	3,79	-2,23
6,98	3,88	-3,1
8,01	3,9	-4,11
9	3,89	-5,11
9,98	5,5	-4,48
10,99	10,37	-0,62
11,98	11,83	-0,15

Figura 4 – Resultados obtidos para o ponto de carga zero (PCZ) do carvão ativado sintetizado a partir do endocarpo lenhoso de jerivá.



Fonte: Do autor (2019).

De acordo com a Figura 4, observa-se que o PCZ do carvão foi igual a pH 2, o que caracteriza o material como ácido, composto por grupos ácidos, que podem ser resultantes da ativação química com ácido fosfórico. Logo, para valores de pH superior ao PCZ o adsorvente apresenta uma superfície carregada por cargas negativas, adsorvendo compostos catiônicos e

quando inferior, o carvão possui a superfície carregada positivamente, adsorvendo compostos aniônicos (BRITO, 2016). Reffas et al. (2010) obtiveram um resultado de PCZ de 3,7 para o carvão ativado obtido a partir de grãos de café preparados nas mesmas condições de ativação deste trabalho. Perilli et al. (2014) obtiveram um resultado de PCZ de 4,63 para carvão ativado comercial. O PCZ obtidos para amostras de resíduos de café usando ácido fosfórico como agente ativante por Flores-Cano et al. (2016) ficaram entre 2,4 e 4,7.

5.6. Capacidade Iônica

A capacidade de troca iônica foi determinada para avaliar a capacidade de troca de íons com a superfície do carvão. Esta análise foi realizada em seis repetições e o valor obtido foi igual a $0,13 \pm 0,09$ mol/kg. Fontan et al. (2017) obtiveram um valor médio de 0,666 mol/kg para um criogel supermacroporoso de poliacrilamida e Claudino et al. (2014) encontraram um resultado de 0,825 mol/kg para criogéis de acrilamida de troca iônica. A capacidade iônica do carvão produzido a partir do endocarpo lenhoso de jerivá é menor se comparado com esses materiais, o que pode ser justificado pela diferença na matriz dos adsorventes, pelo método de ativação e, provavelmente, pela diferença de porosidade entre eles.

5.7. Teor de Cinzas

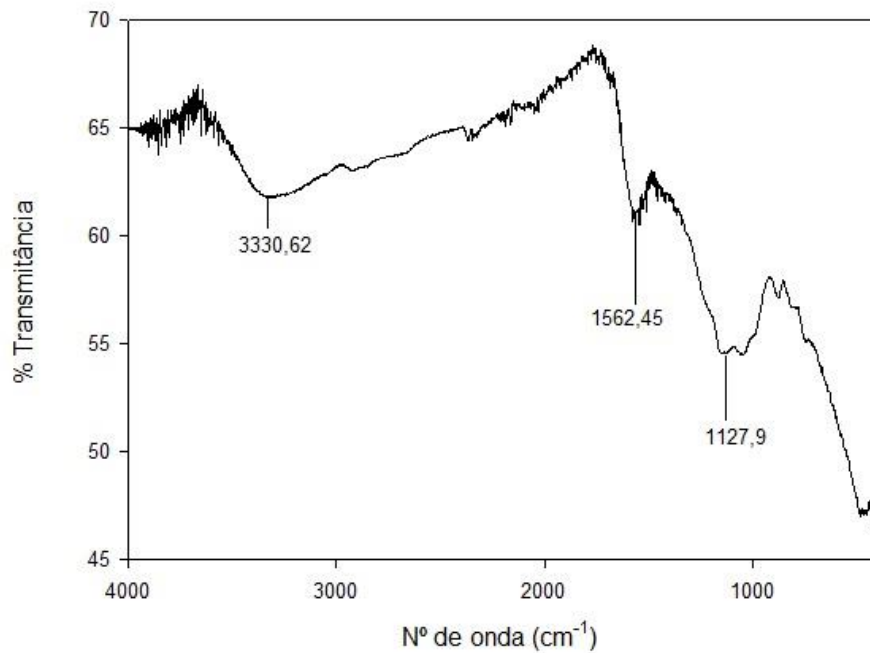
O cálculo do teor de cinzas foi realizado em duplicata e o teor médio obtido para o carvão foi de 0,9505%.

O resultado obtido neste trabalho foi próximo ao observado por Brito (2016), que analisou o teor de cinzas em carvão ativado produzido a partir de caroço de cajá e ativação com KOH e encontrou um resultado de 1,44%. Pinto, Silva, Saraiva (2012) obtiveram um resultado de cinzas de 8,416% em carvão ativado de caroço de buriti. O alto teor de cinzas encontrado por Pinto, Silva, Saraiva (2012) pode estar relacionado ao método de ativação utilizado e ao fato de os compostos inorgânicos presentes no material de partida ficarem retidos (occlusos ou ligados ao material carbonáceo) após o processo de pirólise, não sendo lixiviados no processo de lavagem (RAMOS et al., 2009).

5.8. Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (FTIR)

Na Figura 5 está representado o espectro obtido a partir do FTIR para o carvão ativado produzido a partir do jerivá.

Figura 5 - Espectro obtido por análise FTIR



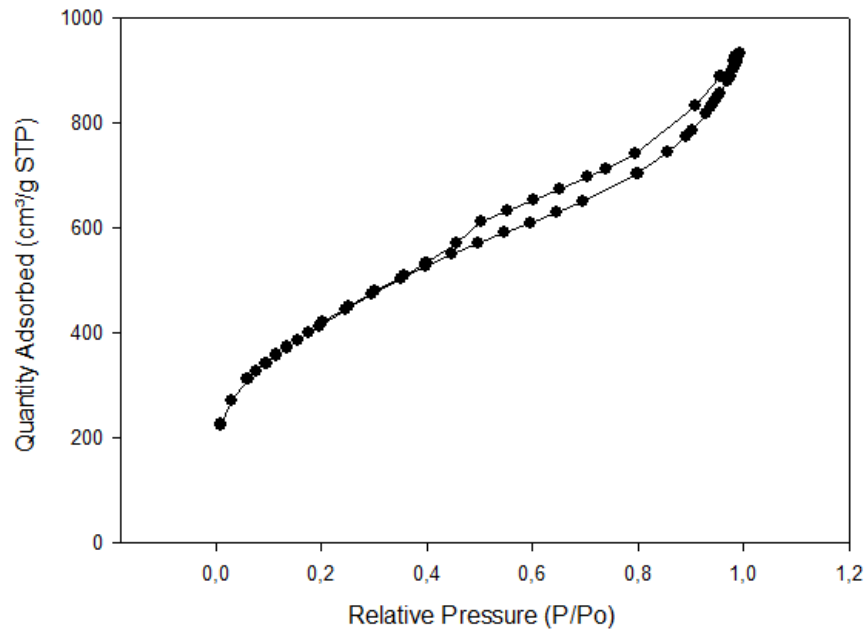
Fonte: Do autor (2019).

De acordo com a Figura 5 é possível observar três picos mais pronunciado nos números de onda iguais a 3330 cm^{-1} , 1562 cm^{-1} e 1127 cm^{-1} . A banda de 3330 cm^{-1} pode ser atribuída a grupos hidroxila (OH) oriundos de álcoois, celulose ou água e das ligações N-H em amins primárias (GUILARDUCI et al., 2006). O pico de 1562 cm^{-1} pode ser atribuído à vibração de alongamento da ligação C=C de grupos aromáticos isolados de lignina ou proveniente dos estiramentos da ligação C=O, existentes em ácidos carboxílicos, cetonas presentes na celulose (REIS; SILVA; NEVES, 2015). A banda em 1127 cm^{-1} pode ser atribuída a ligações éster de fosfato ou ligações P=OOH, justificado pela ativação do carbono com H_3PO_4 (BRITO, 2016).

5.9. Análise de Área Superficial (BET) e Porosidade

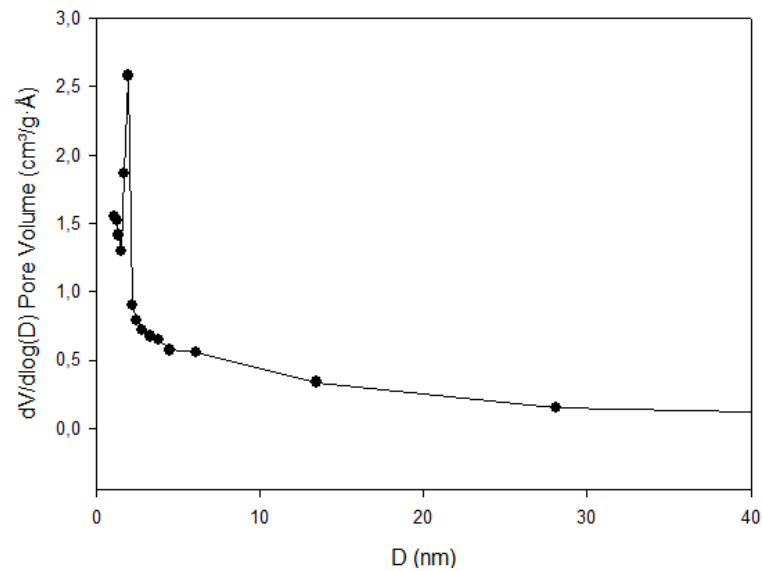
Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas as isotermas de adsorção/dessorção e a distribuição do volume de poros do carvão ativado obtido a partir do endocarpo de jerivá.

Figura 6 – Isoterma de adsorção/dessorção para o carvão ativado de jerivá.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 7 – Distribuição de volume de poros para o carvão ativado de jerivá.



Fonte: Do autor (2019).

De acordo com a Figura 6 e em conformidade com a classificação do União Internacional de Química Pura e Aplicada - IUPAC (1982), observa-se que a isoterma obtida para o carvão ativado é do tipo IV. Esse tipo de isoterma contempla o fenômeno de condensação

capilar, característica de materiais mesoporosos e com formação de histerese. Segundo Gregg e Sing (1982) o fenômeno de condensação capilar é definido a partir da condensação de um líquido nos poros de um sólido a uma pressão relativa P/P_0 menor que a unidade. Ainda segundo a IUPAC (1982), a histerese é classificada como tipo H3, específica de materiais carbonáceos com poros em formato de fendas.

Com relação a Figura 7, o carvão ativado apresenta uma maior concentração de poros com valores inferiores 10 nm, classificando-o como um material de predominância de mesoporos, segundo a classificação da IUPAC (1982).

Tabela 2 – Resultados obtidos para a área superficial, volume e diâmetro médio dos poros do adsorvente.

Adsorvente	Área Superficial (m ² /g)	Diâmetro (nm)	Volume de Mesoporos (cm ³ /g)	Volume de Microporos (cm ³ /g)
Carvão Ativado	1526,56	3,723	1,15	0

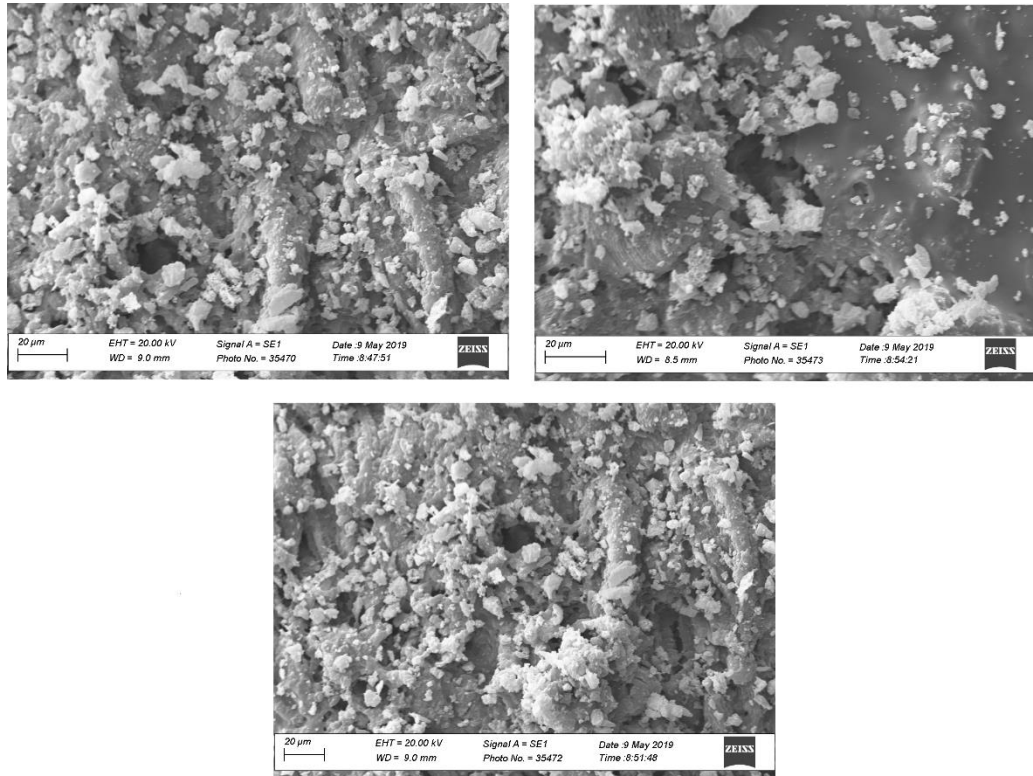
Como apresentado na Tabela 2, o carvão ativado apresentou uma elevada área superficial, com resultados próximos aos relatados na literatura. Laksaci et al. (2017) ao produzirem carvão ativado de borra de café como material precursor e ativação com hidróxido de potássio (KOH), relataram uma área superficial de 1348 m²/g. Já Bouchenafa-Saib et al. (2014) que sintetizaram carvão ativado também de borra de café e utilizaram o cloreto de zinco (ZnCl₂) e H₃PO₄ como ativantes, obtiveram áreas superficiais de 1020 e 910 m²/g respectivamente.

O diâmetro dos poros do carvão ativado apresentou um valor médio de 3,723 nm, o que o classifica como mesoporoso (IUPAC, 1982).

5.10. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na figura 8, são apresentadas as micrografias referentes ao carvão ativado produzido a partir do endocarpo lenhoso do jerivá.

Figura 8 – Micrografias do carvão ativado.



Fonte: Do autor (2019).

Por meio da micrografia é possível observar que o carvão ativado apresenta uma superfície rugosa, quebradiça e irregular.

5.11. Ensaio de Adsorção

Os resultados médios das análises físico-químicas do efluente antes e após o processo de adsorção empregando o carvão ativado do endocarpo lenhoso de jerivá estão apresentados na Tabela 3.

Os resultados das análises físico-químicas do efluente antes e após o processo de adsorção foi feita a análise de variância (ANOVA), seguido por teste de comparação de médias Tukey ao nível de 5% de significância. Todas as análises foram feitas no pacote estatístico SAS® University Edition (SAS UNIVERSITY EDITION, 2016).

De acordo com a Tabela 3, observou-se que o processo de adsorção utilizando o carvão ativado de endocarpo lenhoso de jerivá reduziu significativamente ($p < 0,05$) os conteúdos de DBO, DQO, cor e turbidez nos efluentes tratados.

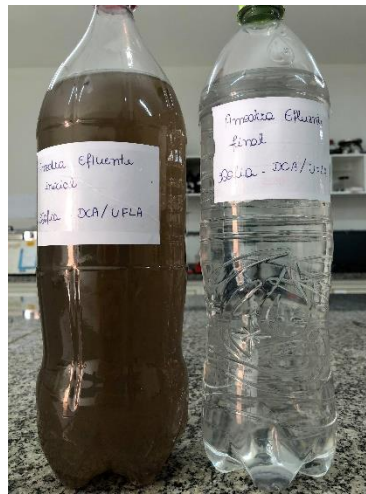
Na Figura 9 são apresentados os efluentes antes e após o processo adsortivo.

Tabela 3 – Resultados médios para os parâmetros físico-químicos de acordo com o tratamento e comparação pelo teste de Tukey.

Parâmetro	Tratamento	
	Efluente antes do processo de adsorção	Efluente após o processo de adsorção
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg/L)	255 ^a	42,5 ^b
Demanda Química de Oxigênio - DQO (mg/L)	522,5 ^a	89 ^b
Cor Real (mg/L Pt-Co)	118,85 ^a	2,37 ^b

*Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 9 – Efluente antes e após o processo de adsorção.



Fonte: Do autor (2019).

A redução da DBO no efluente (Tabela 3) pode ser explicada pela adsorção de parte da matéria orgânica na superfície do carvão. Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 430/2011, o tratamento do efluente deve remover no mínimo 60% da DBO, resultado este que foi observado no efluente após processo de adsorção, indicando a eficiência do carvão ativado do endocarpo lenhoso de jerivá.

Para a Demanda Química de Oxigênio (DQO) pode-se observar também uma diferença significativa nos resultados. Quanto menor a concentração de microrganismos, menor será a DQO, já que este parâmetro avalia a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria

orgânica através de um agente químico. Na Resolução CONAMA 430/2011 não aborda sobre os limites permitidos para a análise de DQO.

Para o parâmetro cor (Tabela 3), observa-se que também houve uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os resultados antes e após o processo adsorptivo, indicando que os sólidos solúveis presentes no efluente foram adsorvidos pelo carvão ativado. Logo sua redução por meio do tratamento terciário se torna algo benéfico.

6. CONCLUSÃO

O endocarpo lenhoso do jerivá demonstrou ser um excelente material para a produção de carvão ativado, por apresentar alto rendimento de carbonização, além de ser uma fonte de carbono renovável e de baixo custo para a síntese do adsorvente.

O carvão ativado produzido neste trabalho, apresentou uma elevada área superficial e porosidade média que o caracterizou como um adsorvente mesoporoso, o que é fundamental para o processo de adsorção de partículas coloidais e sólidos em suspensão.

Os carvões ativados produzidos neste trabalho têm potencial para serem empregados na adsorção de efluentes, uma vez que os mesmos foram capazes de reduzir significativamente os valores de DBO, DQO, turbidez e cor das amostras. Desta forma, o endocarpo lenhoso de jerivá pode passar a ser um subproduto de valor agregado, por apresentar potencialidades de aplicação no tratamento de efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES-COSTA, C. P. **Efeitos da defaunação de mamíferos herbívoros na comunidade vegetal**. 2004. 107p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

ALVES, L. Equipe brasil escola, 2012. Disponível em: <www.brasile scola.com/quimica/carvao-ativado>. Acesso em: 02 de setembro de 2018.

ARCHELA, E. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos**. 2003. 9p. Dissertação (Mestrando em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10357**: águas – determinação da demanda química de oxigênio (DQO) – métodos de refluxo aberto, refluxo fechado – titulométrico e refluxo fechado - colorimétrico: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, p. 4, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12614**: águas – determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) – métodos de incubação (20°C, cinco dias). Rio de Janeiro: ABNT, p. 4, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, p. 4, 2003.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. Preparation of waste tea activated carbono using potassium acetate as na activating agente for adsorption os acid blue 25 dye. **Chemical Engineering Journal**. v. 171, p. 502-509, 2011.

AZNAR, J.S. **Characterization of activated carbon produced from coffee residues by chemical and physical activation**. 2011. 66p. Master Thesis (Master degree in Chemical Engineering) – KTH Chemical Science and Engineering, Stockholm, 2011.

BANDOSZ, T. J. **Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation**. v. 7. New York: Elsevier, 2006.

BARRET, E. P.; JOYNER, L. G.; HALENDA, P. P. The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms, **Journal of The American Chemical Society**, v.73, 373-380, 1951.

BELTRAME, T.; LHAMBY, A.; BELTRAME, A. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.20, p. 351-362, 2016.

BHATNAGAR, A.; SILLANPAA, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 157, p. 277–296, 2010.

BOUCHENAFSA-SAÏB, N.; MEKARZIA, A.; BOUSID, B.; MOHAMMEDI, O.; KHELIFA, A.; BENRACHEDI, K.; BELHANECHÉ, N. Desalination and Water Treatment Removal of malathion from polluted water by adsorption onto chemically activated carbons produced from coffee grounds. **Desalination and Water Treatment**, v. 52, p. 4920–4927, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União, Poder Executivo**, Brasília/DF, 16 mai. 2011. p. 89.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília: Funasa, 150 p, 2013.

BREBU, M.; VASILE, C. Thermal degradation of lignin—a review. **Cellulose Chemistry & Technology**, v. 44, n. 9, p. 353–363, 2010.

BRITO, M. J. P. **Imobilização de lipase em carvão ativado produzido a partir do caroço de cajá**. 2016. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) –Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2016.

BRITO, M.J.P.; VELOSO, C.M.; BONOMO, R.C.F.; FONTAN, R.D.C.I.; SANTOS, L.S.; MONTEIRO, K.A. Activated carbons preparation from yellow mombin fruit stones for lipase immobilization. **Fuel Processing Technology**, 156: 421-428, 2017.

BRUM, S.; BIANCHI, M.; SILVA, V.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M.; OLIVEIRA, L. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, vol. 31, nº. 5, 1048-1052, 2008.

BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; TELLER, E. Adsorption of Gases in multimolecular layers, **Journal of The American Chemical Society**, v.60, 309-319, 1938.

CALGON. **Activated Carbons Principles; Activated Carbon What it is, How it Works, 2011**. Disponível em: <<http://www.calgoncarbon.com>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CASTRO, J. P. **Produção e caracterização física de carvões ativados a partir de fibras de piaçava pré-tratadas**. 2016. 131p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2016.

CENDOFANTI, A. C.; PAWLOWSKY, U. **Minimização de resíduos de um processo de carvão ativado e de goma resina**. 2005. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

CLAUDINO, A.; GOMES, A. C.; CANO, R. F.; JÚNIOR, W.F. S.; SILVA, S. L. DA.; TÓTOLA, A. H.; CARVALHO, B. M. A. DE. Adsorção de BSA em sistema criogel de troca iônica. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, 2014.

CLEMENT CR.; LLERAS, P. E.; VAN, L. J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociências** 9 (1-2), p. 67-71, 2005.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Proximate composition of guarioba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, 44, 2139, 2011.

DANTAS, M. E. **Produção de carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (cocosnuciferalinn) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KOH como ativantes**. 2014. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

DEMIRAL, H.; KARABACAHOGLU, B.; DEMIRAL, I.; TUMSEK, F. Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 89, n. 2, p. 206–213, 2011.

DENG, H.; ZHANG, G.; XU, X.; TAO, G.; DAI, J. Optimization of preparation of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted phosphoric acid-chemical activation. **J.Hazard. Mater**, v.182, p.217–224, 2010.

DEOLIN, M. H.; FAGNANI, H.; ARROYO, P.; BARROS, M. Obtenção do ponto de carga zero de materiais adsorventes. **VIII Encontro nacional de produção científica da UNICESUMAR**, Maringá- PR, 2013.

DEZOTTI, M. Parâmetros para caracterização de efluentes-Qualidade das águas de despejo. In: **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 360p. (Série Escola Piloto em Engenharia Química COPPE/UFRJ), 2008.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; ALMEIDA, M. F.; RIVERA-UTRILLA, J.; SÁNCHEZ-POLO, M. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. **J. Environ. Manag.** n° 85, p. 833-846, 2007.

DJILANI, C.; ZAGHDOUDI, R.; BOUCHEKIMA, B.; LALLAM, A.; MODARRESSI, A.; ROGALSKI, M. Adsorption of dyes on activated carbon prepared from apricot stones and commercial activated carbon. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v.53, p.112–121, 2015.

FLORES-CANO, J.Y.; SANCHES-POLO, M.; MESSOUD, J.; VELO-GALA, I.; OCAMPO-PEREZ, R.; RIVERA-UTRILLA, J. Overall adsorption rate of metronidazole, dimetridazole and diatrizoate on activated carbons prepared from coffee residues and almond shells. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 169, p.116-125, mar. 2016.

FLORIDO, P. L. **Tratamento de efluente de refinaria pelo processo combinado de adsorção em carvão ativado e biorreator com membranas**. 2011. 155p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2011.

FONTAN, R.C.I.; BONOMO, R.; GONÇALVES, G.; MINIM, V.; MINIM, L. Alternatives for Characterizing Macroporous Polyacrylamide Monolithic Ion Exchanger Columns. **Polymer engineering and science**, 2017.

FRANCHI, J. G. **A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados**. 2004. 198p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GALETTI, M.; PASCHOAL, M.; PEDRONI, F. Predation on palms nuts (*Syagrus romanzoffiana*) by squirrels (*Sciurus ingrami*) in south-east Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Winchelsea, v. 8, n. 1, p. 121-123, 1992.

GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M.; BIACHI, M.; OLIVEIRA, L.; PEREIRA, E.; DALLAGO, R. Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos do meio aquoso. **Revista Ciência Agrotécnica**. V. 31, n.5, p.1386-1391, 2007.

GOUDEL, F. **Caracterização e Processamento de Mapuitã, os frutos da palmeira jerivá (Syagrus romanzoffiana Cham.)**. 2012, 115 p. Dissertação (Mestre em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W. Adsorption, Surface Area and Porosity. **Academic Press** 2, p. 40-48, London, 1982.

GUERRA, A.; TONUCCI, M.; CEBALLOS, B.; GUIMARÃES, H.; LOPES, W.; AQUINO, S.; LIBÂNIO, M. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitaria e Ambiental (SciELO)**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.603-612, dez. 2015.

GUILARDUCI, V.V.S.; MESQUITA, J.; MARTELLI, P.; GORGULHO, O. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova**, 29, 1226-1232, 2006.

GUIZ, J. C.; RUIZ, X. Plant-disperser-pest evolutionary triads: how widespread are they?. **Orsis**, 15: p. 121-126, 2000.

HAGHSERESHT, F.; NOURI, S.; FINNERTY, J.; LU, G. Effects of surfaces chemistry on aromatic compound adsorption from dilute aqueous solutions by activated carbon. **J. Phys. Chem.** B106 p.10935 – 10943, Junho 2002.

HESASA, R.H.; ARAMI-NIYA, A.; DAUD, W.; SAHU, J. Preparation of granular activated carbon from oil palm shell by microwave-induced chemical activation: Optimisation using surface response methodology. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 91, p. 2447–2456, 2013.

HORIKAWA, T.; KITAKAZE, Y.; SEKIDA, T.; HAYASHI, J.; KATOH, M. Characteristics and humidity control capacity of activated carbon from bamboo. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 3964–3969, 2010.

IUPAC: União Internacional de Química Pura e Aplicada. **Reporting Physisoption data for gás/solid systems**.v.54, p. 2201-2218, 1982.

JABIT, N. B. **The production and characterization of activated carbono using local agricultural waste through chemical activation process.** 2007. 118f. Thesis (Master of Science) – School of Material and Mineral Engineering, 2007.

JOHARI, K.; SAMAN, N.; SONG, S.; KONG, H.; MAT, H. Adsorption enhancement of elemental mercury by various surface modified coconut husk as eco-friendly low-cost adsorbents. **Journal of International Biodeterioration e biodegradation**, 109, 45, 2016.

KALUDJEROVIC, V.; JOVANOVIC, V.; STEVANOVIC, S.; BOQDANOV, Z. Characterization of nanoporous carbon fibrous materials obtained by chemical activation of plane tree seed under ultrasonic irradiation. **Ultrason.Sonochem**, v.21, p.782–789, 2014.

KASTANAKI, E.; VAMVUKA, D.; GRAMMELIS, P.; KAKARAS, E. Thermogravimetric studies of the behavior of lignite-biomass blends during devolatilization. **Fuel Processing Technology, Amsterdam**, v.77-78, p. 159-166, June 2002.

LABORATORIO OIKOS. Palmeiras. Curitiba: **Universidade Federal do Paraná**, 2007. Disponível em: < <http://www.oikos.ufpr.br/produtos/palmeira.pdf> > Acesso em: 25 de agosto de 2018.

LAKSACI, H.; AISSA, K.; MOHAMED, T.; ABDELHAMID, A. Synthesis and characterization of microporous activated carbon from coffee grounds using potassium hydroxides. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 254–262, 2017.

LINHARES, F. A.; MARCÍLIO, N. R.; MELO, P. J. Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia Cum Industria**, [s.l.], v.4, n.2, p.74-79, 2016.

LIPPENS, B. C.; LINSEN, B. G.; BÔER, J. H. Studies on pore systems in catalysts I. The adsorption of nitrogen; apparatus and calculation, **Journal of Catalysis**, v.3, 32-37, 1964.

LORENZI H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. São Paulo, **Plantarum**, 384p, 2002.

MACEDO, J.A.B. **Introdução a química ambiental-química, meio ambiente e sociedade.** 2 ed. Belo Horizonte: O Locutor, 2002.

MACEDO, L. M. P. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2012.

MACHADO, C. R. A. **Avaliação de processo de lodos ativados combinado com carvão ativado em pó no tratamento de efluente de refinaria de petróleo**. 2010. 128p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2010.

MEEROW, A. W. Palm seed germination. Florida: **Cooperative Extension Service**, 10 p. (Bulletin, 274), 1991.

MOHAN, D.; PITTMAN JR, C. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri and hexavalent chromium from water. **Journal of Hazardous Materials**, n. 137, pp. 762-811, 2006.

MUCCIACITO, J.C. Conceitos e aplicações do carvão ativado. **Meio Filtrante**. São Paulo, n.22, set/out, 2006.

OKMAN, I.; KARAGOZ, S.; TAY, T.; ERDEM, M. Activated Carbons From Grape Seeds By Chemical Activation With Potassium Carbonate And Potassium Hydroxide. **Applied Surface Science**, v.293, p.138–142, 2014.

OLMOS, F.; PARDINI, R.; BOULHOSA, R.; BURGL, R.; MORSELLO, C. Do tapirs steal food from palm seed predators or give them a lift? **Biotropica**, 31: p. 375-379, 1999.

PEREIRA, R.G.; VELOSO, C.M.; DA SILVA, N.M.; DE SOUSA, L.F.; BONOMO, R.C.F.; DE SOUZA, A.O.; SOUZA, M.O.D.G.; FONTAN, R.D.C.I. Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using H₃PO₄ and ZnCl₂ as activating agents for BSA and α -lactalbumin adsorption. **Fuel Processing Technology**, 126: p. 476-486, 2014.

PERILLI, T.; SICUPIRA, D.; MANSUR, M.; LADEIRA, A. Avaliação da capacidade adsorptiva de carvão ativado para a remoção de manganês. **Holos**, [s.l.], v. 3, p.264-271. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), 2014.

PEZOTI, O.; CAZETTA, A.; SOUZA, I.; BEDIN, K.; MARTINS, A.; ALMEIDA, V. Adsorption studies of methylene blue onto ZnCl₂-activated carbono produced from buriti shells (*Mauritia Flexuosa* L.). **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.20, p. 4401-4407, 2014.

PINTO, M.; SILVA, D.; SARAIVA, A. Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (*Mauritia flexuosa L.f.*) para avaliação do processo de adsorção de cobre (II). **Acta Amazonica**, vol 42(4), Universidade Federal do Pará, 2012.

RAMOS et al. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova**. vol. 32, nº. 5, 1139-1143, 2009.

REFFAS, A.; BERNARDET, V.; DAVID, B.; REINERT, L.; LEHOCINE, M.; DUBOIS, M.; BATTISSE, N.; DUCLAUX, L. Carbons prepared from coffee grounds by H₃PO₄ activation: Characterization and adsorption of methylene blue and Nylosan Red N-2RBL. **Journal of Hazardous Materials**, v.175, p. 779-788, 2010.

REIS, A. S.; SILVA, N. C.; NEVES, U. M. Produção de carvão ativado a partir de casca de arroz. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [s.l.], v. 2, n. , p.89-103. Universidade Federal do Tocantins, 2015.

RODRIGUES, C.C. **Contribuição ao estudo do tratamento do gás amoníaco por adsorção em leito fixo de carvão ativado**. 2002. 134p. Tese (Doutorado em Engenharia Química)– Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP), 2002.

SAHU, J.N; ACHARYA, J.; MEIKAP, B.C. Optimization of production conditions for activated carbons from tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology. **Bioresour Technol**, v.101, p.1974–82, 2010.

SANTOS, M.P.F. **Influência das características químicas do precursor de carbono nas propriedades do carvão ativado e sua aplicação na imobilização enzimática**. 2018. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2018.

TOMASELLA, R.; OLIVEIRA, E.; ANGELIS, D.; GARCIA, M. Avaliação do potencial de compostos naturais (argila, turfa e carvão) na remoção de chumbo e toxicidade de um efluente industrial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental (SciELO)**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.251-258, jun. 2015.

YORGUN, S.; VURAL, N.; DEMIRAL, H. Preparation of high-surface area activated carbon from Paulownia by ZnCl₂ activation. **Micropor.Mesopor.Mater.**, v.122, p.189–194, 2009.

YU, L.; ZHONG, Q. Preparation of adsorbents made from sewage sludges for adsorption of organic materials from wastewater. **J. Hazard. Mater.**, v.137, p.359–366, 2006.

ZYOUS, A.; NASSAR, H.; EL-HAMOUZ, A.; HILAL, H. Solid olive waste in environmental cleanup: Enhanced nitrite ion removal by ZnCl₂-activated carbon. **Journal of Environmental Management**, v.152, p.27-35, 2015.