INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

DE MINAS GERAIS - CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA

BACHARELADO EM AGRONOMIA

ANA LÍVIA DE JESUS COSTA

CARVÃO ATIVADO GRANULAR A PARTIR DO *DENDROCALAMUS GIGANTEUS* - MUNRO, PARA ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO EM ÁGUA

São João Evangelista

2023

ANA LÍVIA DE JESUS COSTA

CARVÃO ATIVADO GRANULAR A PARTIR DO *DENDROCALAMUS GIGANTEUS* - MUNRO, PARA ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO EM ÁGUA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Agronomia, no Instituto Federal de Minas Gerais campus São João Evangelista (IFMG/SJE).

Orientador: Prof. Alberto Valadares Neto.

São João Evangelista

2023

S111a Costa, Ana Lívia de Jesus
Carvão ativado granular a partir do Dendrocalamus giganteus - Munro, para adsorção do corante azul de metileno em água / Ana Lívia de Jesus Costa. – 2023.
40 f. : il.
Bibliografia: p. 38-40.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus São João Evangelista, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Alberto Valadares Neto.
Coorientação: Prof. Dr. Fábio Welington Lima.

1. Carvão ativado. 2. Bambu. 3. Dendrocalamus giganteus. 4. Metileno. I. Ana Lívia de Jesus Costa. II. Título.

CDD: 631

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Denísio P. Marcos CRB-6/3142

ANA LÍVIA DE JESUS COSTA

CARVÃO ATIVADO GRANULAR A PARTIR DO *DENDROCALAMUS GIGANTEUS* - MUNRO, PARA ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO EM ÁGUA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Agronomia, no Instituto Federal de Minas Gerais campus São João Evangelista (IFMG/SJE).

Aprovado em 05/07/2023 pela banca examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
ALBERTO VALADARES NETO
Data: 10/08/2023 13:55:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Alberto Valadares Neto – IFMG (Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br
FABIO WELITON JORGE LIMA
Data: 12/08/2023 19:03:39-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Fábio Weliton Jorge Lima – IFMG
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br
CLAUDIO JUNIOR ANDRADE RIBEIRO
Data: 16/08/2023 20:41:07-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Me. Cláudio Júnior Andrade Ribeiro – IFMG

Documento assinado digitalmente
gov.br
BRUNO OLIVEIRA LAFETA
Data: 22/08/2023 16:38:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá – IFMG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela Sua graça e misericórdia, que me sustentaram nos momentos de incerteza e fraqueza. Sua presença constante e Seu amor incondicional me deram a força e a coragem para persistir mesmo quando as dificuldades pareciam insuperáveis.

Quero agradecer aos meus pais, cujo amor, apoio e sacrifícios foram a base que me permitiu chegar até aqui. Vocês sempre acreditaram em mim, encorajaram-me a perseguir meus sonhos e nunca deixaram de me incentivar, mesmo nos momentos mais desafiadores. Sou eternamente grato por ter vocês como meus pilares e inspiração.

Aos meus irmãos e meus sobrinhos, vocês são minha força e motivação. Suas palavras de encorajamento e o suporte incondicional que sempre me deram são um verdadeiro presente em minha vida. Obrigado por sempre estarem lá, torcendo por mim e me ajudando a superar qualquer obstáculo. E, meu irmão, que é nossa "estrelinha", sei que sempre esteve comigo.

Agradeço aos meus amigos mais próximos, que estiveram presentes durante toda essa caminhada acadêmica. Suas risadas, conversas inspiradoras e momentos de descontração foram essenciais para manter minha sanidade nos momentos de estresse. Obrigado por compartilharem comigo essa jornada e por serem parte integrante da minha vida.

Aos meus professores e orientadores, não tenho palavras suficientes para expressar minha gratidão. Vocês foram mentores excepcionais, sempre dispostos a compartilhar seu conhecimento, orientar-me com paciência e desafiar-me a ir além das minhas limitações. Sou grato por suas valiosas contribuições e pelo tempo que dedicaram a me ajudar a aprimorar este trabalho.

A todos que estiveram presentes e me apoiaram ao longo desta trajetória, meu mais profundo agradecimento.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

"Nada se compara ao valor do conhecimento; ele é mais precioso do que joias."

Provérbios 8:11

RESUMO

Este estudo teve como sintetizar produzir carvão ativado granular a partir do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) e avaliar sua capacidade de adsorção do corante azul de metileno em água. O carvão ativado foi produzido por carbonização a diferentes temperaturas, sendo elas 200°C, 300°C, 400°C e 500°C, seguida de ativação com solução de $FeCl_3$ utilizando a mesma metodologia. O carvão ativado foi caracterizado por Ponto-Zeta, área superficial e infravermelho. Os resultados mostraram que o carvão ativado apresentou uma área superficial de 310 m^2/g e um volume de poros de 0,143300 g/cm^3 com estrutura predominantemente microporosa. A adsorção do corante azul de metileno foi estudada por meio de experimentos em triplicata, e os resultados mostraram que o carvão ativado apresentou alta capacidade de adsorção, alcançando uma eficiência de remoção de 72,79%, com uma dosagem de 30 mL em uma concentração inicial de corante de 6 mg/L. Esses resultados demonstram o potencial do bambu gigante como um precursor promissor para a produção de carvão ativado de alta qualidade para a remoção de poluentes de corante em água.

Palavras-chave: carvão ativado; bambu; *Dendrocalamus giganteus*; azul de metileno; adsorção.

ABSTRACT

This study aimed to produce granular activated carbon from giant bamboo (*Dendrocalamus giganteus*) for the adsorption of methylene blue dye in water. Activated carbon was produced through carbonization at different temperatures: 200°C, 300°C, 400°C, and 500°C, followed by activation with $FeCl_3$ solution using the same methodology. The activated carbon was characterized by zeta potential, surface area, and infrared analysis. The results showed that the activated carbon had a surface area up to 310 m^2/g and a pore volume up to 0.143300 g/cm^3, predominantly with a microporous structure. The adsorption of methylene blue dye was studied through triplicate experiments, and the results demonstrated that the activated carbon exhibited high adsorption capacity, achieving a removal efficiency up to 72.79% with a dosage up to 30 mL and an initial dye concentration up to 6 mg/L. These findings highlight the potential of giant bamboo as a promising precursor for the production of high-quality activated carbon for the removal of dye pollutants in water.

Keywords: activated carbon; bamboo; *Dendrocalamus giganteus*; methylene blue; adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grupos funcionais na superfície do carvão ativado (Rodrigues-Reinoso *et al*, 2008).....14

Figura 2 - Cadeia de transformação do bambu.....19

Figura 3: Estrutura molecular do azul de metileno.....20

Figura 4: Bambu in natura triturado.....22

Figura 5: Processo de combustão no forno mufla.....23

Figura 6: Carvão ativado com o agente $FeCl_3$, após o processo de lavagem.....24

Figura 7: Etapas para obtenção do ponto de carga Zeta.....25

Figura 8: Etapas do teste de adsorção.....26

Figura 9 - Espectroscopia de absorção na região do infravermelho do carvão sem ativação...31

Figura 10 - Espectroscopia de absorção na região do infravermelho do carvão ativado com o agente $FeCl_3$.....32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados dos testes de Ponto Zeta dos carvões sem $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.....29
Gráfico 2 – Resultados dos testes de Ponto Zeta do carvão ativado com $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.....30
Gráfico 3 – Resultados dos testes de adsorção do carvão sem $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.....34
Gráfico 4 – Resultados dos testes de adsorção do carvão ativado com $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.....35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média produtiva do bambu dependendo da espécie.....17
Tabela 2 – Rendimento percentual do carvão produzido sem o agente ativante ($FeCl_{3)}$, em diferentes temperaturas.....27
Tabela 3 – Rendimento percentual do carvão ativado com o agente $FeCl_3$.....27
Tabela 4: Potencial de carga zero dos carvões ativados produzidos em diferentes temperaturas.....28
Tabela 5 – Propriedades texturais dos carvões.....30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 15
2.1 Carvão Ativado 15
2.2 Carvão ativado vegetal 18
2.3 Bambu 19
2.4 Corante azul de metileno 21
2.5 Adsorção 23
3. OBJETIVO 23
3.1 Objetivo geral 23
3.2 Objetivos específicos 23
4. METODOLOGIA 24
4.1 Síntese de carvão ativado granular a partir do Bambu *Dendrocalamus giganteus* ... 24
4.2 Estimativa da área superficial 26
4.3 Ponto de carga zero (PCZ) 26
4.4 ADSORÇÕES 28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 29
5.1 RENDIMENTO DO MATERIAL 29
5.1.1 Carvão produzido a partir de bambu 29
5.2 Ponto Zeta 30
5.3 Áreas superficiais medidas por BET. 32
5.4 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR) 33
5.5 ADSORÇÃO 36
5.5.1 Carvão produzido a partir de Bambu 36
5.5.2 Carvão ativado com $FeCl_3$ 37
CONCLUSÃO 38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 39

1. INTRODUÇÃO

O aumento de renda e da população exerce pressão sobre a exploração dos recursos naturais e agrícolas. O processamento desses recursos gera grande quantidade de resíduos sólidos e líquidos e a legislação brasileira exige que esses sejam descartados e tratados adequadamente. Alguns desses resíduos são efluentes aquosos e uma das maneiras de tratá-los é pelo processo de filtração, que retem os contaminantes e libera a água aos cursos d'agua em condições de uso pela população. Com isso faz-se necessário a busca por fontes renováveis de recursos, assim como meios alternativos para descontaminação de efluentes aquosos. Alguns materiais se destacam nesse processo, como o carvão ativado, por possuir excelentes características adsorventes.

Os carvões ativados são uma boa alternativa pois são provenientes de resíduos agrícolas ou fontes ricas em celulose que sejam renováveis e de baixo custo. O processo de combustão incompleta de materiais a base de lignocelulose tem como produto o carvão, que é um composto carbonáceo, extremamente adsorvente e de elevada área superficial. Devido a sua alta capacidade de adsorção, é amplamente utilizado nos processos de purificação de águas e remediações ambientais. Porém sua utilização em grande escala é limitada, devido ao elevado custo de produção. Uma forma de diminuir o valor econômico é a utilização de percursores alternativos, como o bambu.

O bambu é uma gramínea pertencente à família *Gramineae* (*Poaceae*), da subfamília *Bambusoideae*, com aproximadamente 50 gêneros e mais de 1300 espécies. Ele pode ocorrer naturalmente em todos os continentes, entre as latitudes 46º N e 47º S, a exceção é o continente europeu. O INBAMBU, instituto do bambu, traz diversas pesquisas e estudos a respeito da viabilidade técnica, econômica e ambiental. O presente trabalho utilizou o Bambu Gigante *Dendrocalamus giganteus*, como percursor do carvão, na adsorção do corante azul de metileno (INBAMBU, 2004).

O azul de metileno é um corante orgânico catiônico amplamente utilizado para colorir algodão e madeira. Assim como outros corantes, se trata de uma substância tóxica, tanto para o ambiente quanto para os animais, podendo causar queimaduras nos olhos, prejudicar o sistema respiratório e se ingerido pode causar, náuseas, vômitos, sudorese e confusão mental (Tan et al., 2008).

A presença desse contaminante em efluentes aquosos torna necessário o tratamento de forma a eliminá-lo ou reduzir a sua presença a níveis aceitáveis pelos órgãos ambientais. Sendo assim, faz-se necessário o tratamento desses rejeitos líquidos por meio de técnicas eficientes e de baixo custo. Dentre os métodos utilizados para o tratamento de efluentes destacam-se os processos de coagulação química, oxidação química por fotodegradação e filtração por meio de membranas, de troca iônica no processo

de adsorção (Borba et al., 2012; Guler e Sarioglu, 2013). Nesse contexto, para fins experimentais, foi utilizado o método de adsorção, por melhor se adequar às nossas condições de trabalho.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

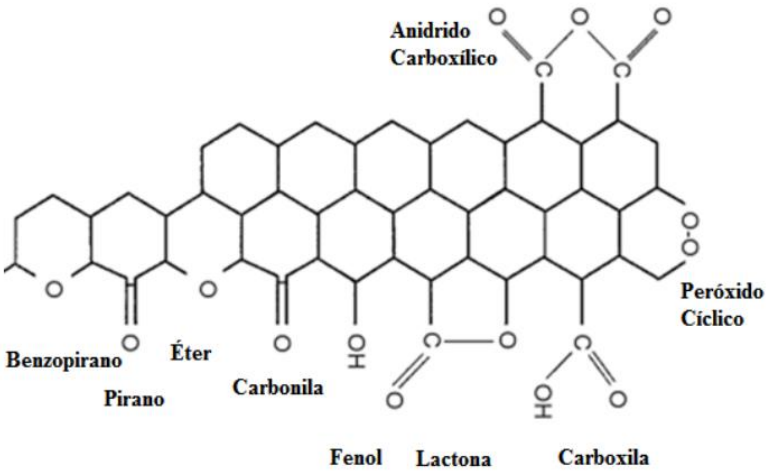
2.1 Carvão Ativado

O carvão ativado é um material carbonáceo muito utilizado tanto para a adsorção de compostos na fase gasosa quanto na fase líquida. Sua ampla utilização se deve a sua elevada porosidade e área superficial. Essas duas características permitem que os carvões ativados sejam empregados em diversos setores tais como: remediação ambiental, industrial e na recuperação e remoção de uma ampla gama de espécies contaminantes presentes, nas fases gasosa e líquida (Marsh *et al.*, 2006).

O carvão ativado é produzido a partir de precursores carbonáceos “materiais ricos em carbono”, tais como madeira, carvão, casca de coco, casca de arroz, resíduos agroindustriais e bambu. Esses adsorventes possuem algumas características importantes, tais como, elevadas áreas superficiais, baixo custo de síntese e estabilidade química de sua estrutura, que estão relacionadas ao precursor utilizado (Karanfil *et al.*, Torrellas S.A. *et al.*). A produção do carvão ativado, pode ser feita por dois técnicas: a ativação física e a ativação química, e pode ser executada em uma ou duas etapas, a depender do processo de ativação utilizado (Dias, 2023).

O processo de ativação do carvão é a etapa de desenvolvimento da textura física (poros) e química (funcionalidade), que pode ser pelos processos físicos e químicos em baixa temperatura (até 600^{o}C). Já em outros casos a porosidade e a funcionalidade é alcançada na etapa de carbonização, não sendo necessário a etapa de ativação (Oliveira e Franca, 2011). A Figura 1 apresenta alguns exemplos de grupos funcionais que podem estar presentes na superfície de alguns carvões ativados.

Figura 1: Grupos funcionais na superfície do carvão ativado (Rodrigues-Reinoso *et al*, 2008).



Quando há a necessidade de se fazer a ativação, ela pode ser feita pelo processo físico ou químico: para esse trabalho utilizamos o segundo caso.

Um catalisador é impregnado ao precursor carbonáceo utilizado na síntese do carvão ativado. Na ativação química são utilizados cloretos metálicos ($ZnCl_2$), $FeCl_3$ e $CaCl_3$), hidróxidos metálicos (NaOH e KOH) e ácidos (H_3PO_4 e H_2SO_4) (Oliveira e Franca, 2011; Uçar *et al.*, 2009; Niedersberg *et al*., 2012; Zang *et al.*, 2013).

A escolha do agente ativante é feita de acordo com as características desejadas da superfície do carvão ativado, o material precursor, também pode influenciar na escolha do agente ativador. No processo de ativação química, uma solução saturada do agente ativante é impregnada e seca sobre a superfície do precursor carbonáceo. Em seguida, o material precursor impregnado com o agente ativante passa pelo tratamento térmico para se obter o carvão ativado. O produto obtido passa por tratamento para a remoção do agente ativante residual depositado sobre a superfície do carvão ativado sintetizado (Oliveira e Franca, 2011; Uçar *et al.*, 2009; Niedersberg *et al*., 2012; Zang *et al.*, 2013).

Na ativação física, o material carbonizado, reage com precursores gasosos (geralmente H_2O e CO_2 ou mistura de ambos), neste processo faz-se uso de temperaturas elevadas e períodos de exposição prolongados. O objetivo deste processo de ativação é a remoção do carbono amorfo das camadas intersticiais da estrutura para liberar os poros e tornam as camadas internas do carvão ativado acessível. Esses objetivos também se estendem à ativação química, mas nesta

ativação a carbonização e a ativação ocorrem em uma só etapa reduzindo custos e tempo (Marsh *et al.*, 2006).

A ativação física é utilizada quando se deseja uma estrutura com poros e fendas finas, essas características, tornam o carvão ativado mais apropriado à sua utilização em fase gasosa para a adsorção de pequenas moléculas. Na ativação química os poros gerados são maiores, provocada pela evaporação do agente ativante, essa característica, poros maiores, permitem que esse material seja mais bem utilizado em fase líquida (Sai *et al.*, 2005)

A ativação química possui algumas vantagens sobre a ativação física tais como: menor consumo de energia e maior rendimento mássico do produto (Arami-Niya *et al.*, 2010). Por outro lado, a ativação física tem a vantagem de gerar baixos teores de gases, CO_2 e CO, como subprodutos.

A ativação química produz poros maiores, chamados de mesoporos, essa característica permite o aumento da capacidade de adsorção do carvão ativado, além de possibilitar a adsorção de moléculas maiores (ex. corantes e pesticidas). As moléculas com dimensões maiores são muito comuns em águas contaminadas. Portanto, o carvão ativado, produzido pela rota da ativação química pode ser uma boa opção para removê-las (Ariydejwanich *et al.*, 2003; Gupa *et al.*, 2011).

Outra característica muito importante dos carvões ativados é sua forma física. Os carvões ativados na forma granular estão sendo priorizados, na indústria, pela sua facilidade em serem manipulados e recuperados quando são utilizados em larga escala. Nesta forma física eles podem ser pulverizados por aplicadores ou aviões sem que se altere as suas propriedades físicas e químicas, área superficial, tipo de poros, grupos funcionais produzidos sobre a superfície do carvão etc. (Corwin *et. al.*, 2010). Outra variável que pode influenciar nas características do carvão ativado é o seu precursor. Aygun *et al.*, 2003, realizaram a síntese de carvão granular com diferentes precursores carbonáceos, casca de amêndoa, casca de avelã, casca de noz e semente de damasco, utilizando o cloreto de zinco ($ZnCl_2$) como agente ativante. Nesse trabalho, os carvões ativados produzidos, foram testados na remoção de fenol e azul de metileno.

O tempo e a temperatura de carbonização influenciaram na adsorção dos contaminantes. Outra importante questão discutida neste trabalho, foi a origem da fonte precursora do carvão ativado. Segundo Corwin *et. al*, a fonte precursora também influencia na capacidade de

adsorção, sendo que, a melhor fonte foi a casca de avelã e a pior a casca de amêndoas: casca de avelã > casca de noz > semente de damasco > casca de amêndoa.

A escolha de fontes precursoras de carvão ativado depende de fatores: tais como disponibilidade, custos e estrutura físico-química. Esses fatores estimulam a procura de fontes alternativas para a produção de carvão ativado. Sendo que, tem se tornado comum o uso de resíduos agroindustriais ou material de baixo custo de aquisição e alta quantidade de carbono, para a produção de carvão ativado (Ahmed *et al.*, 2016).

Além dessas características, estes materiais devem possuir como principais componentes estruturais lignina, celulose e hemicelulose, substâncias que possuem grupos funcionais oxigenados como hidroxila, éter e carbonila, que desempenham um importante papel na adsorção (Zhou et al., 2015). Um destes materiais de baixo custo e fácil acesso, que está chamando a atenção de alguns pesquisadores é o bambu. Segundo Santana *et al*, 2017, os carvões ativados obtidos do bambu parecem ser promissores devido a elevada área superficial obtida, acima de 1000 m^2/g.

Além da fonte percursora de carbono, neste trabalho também será abordado o agente ativante. Neste projeto será utilizado o cloreto de ferro III ($FeCl_3$), segundo Pereira e Oliveira, 2008, o cloreto de férrico, possui baixa temperatura de vaporização (600^oC), isso pode ajudar a reduzir os custos de produção de carvão ativado, quando comparado a outros agentes ativantes, como o cloreto de zinco ($ZnCl_2$), que possui uma temperatura média de ativação em torno de 700^oC (Pereira e Oliveira, 2008).

2.2 Carvão ativado vegetal

Os materiais de origem vegetal, principalmente aqueles que contêm celulose, veem apresentando alto potencial como precursores na produção de carvão ativado. Por meio de análises laboratoriais, pode-se constatar seu potencial na adsorção de diversos poluentes. Além do mais, os materiais vegetais são uma fonte rica para a produção de carvão ativado devido ao seu baixo teor de cinzas e durabilidade (Bhatnagar; Sillanpaa, 2010).

Diferentes matérias de origem vegetal podem ser utilizadas na produção de carvão ativado, tais como fibra de juta (Senthilkumaar et al., 2005), torta de oliva (Stavropoulos; Zabaniotou, 2005), caroço e casca de nozes (Aygün et al., 2003), caule de algodão (Deng et al.,

2011), assim como a bambu (silva; Yuri, 2019). Os carvões obtidos apresentaram elevada área superficial específica, com grande quantidade de microporos, apresentando boa remoção dos poluentes, principalmente no caso do corante azul de metileno (GONÇALVEZ, et al., 2007).

2.3 Bambu

A Ásia é a responsável por 62% das espécies de Bambu existentes, nas Américas, são encontradas 34% das espécies de Bambu, o continente Africano e a Oceania são responsáveis pelas 4% das espécies restantes (Hidalgo-Lopez, 2003). A relação dos dados sobre a produtividade média do bambu depende da espécie, clima, solo, altitude e outros fatores. Na Tabela 1, é apresentada a produtividade de algumas espécies de bambu em diferentes regiões da terra (Adaptado de Qstapiv, 2007).

Tabela 1 – Média produtiva do bambu dependendo da espécie.

Espécie	**Produtividade/ano**	**País**
Bambusa vugaris	20 t/ha	Brasil
Dendrocalamus giganteus	15 t/ha	Índia
Bambusa arundinacea	15 t/ha	Índia
Phyllostachys pubescens	30 t/ha	China
Chusquea culeou	10 a 11 t/ha	Chile
Guadua angustifólia	56 t/ha	Colômbia
Dendrocalamus latiflorus	70 a 80 t/ha	China

Fonte: Adaptado de Ostapiv, 2007.

O Bambu é uma cultivaria de regiões tropicais e subtropicais, sendo que, ele melhor se adapta às regiões de temperaturas elevadas e com alto índice pluviométrico, como exemplo no estado do Acre, região norte do Brasil. Onde são encontradas algumas espécies do gênero *Guadua*. Outras espécies podem ser encontradas em regiões inóspitas, como o semiárido indiano, onde se encontra a espécie *Dendrocalamus strictus (Roxb.) Nees* – um Bambu maciço. O bambu, também se adapta bem às variações de altitude, ele pode ser encontrado tanto no nível do mar quanto a cerca de quatro mil metros de altitude. Essa grande adaptabilidade do Bambu é uma justificativa para escolher ele como fonte precursora, porque ele pode ser

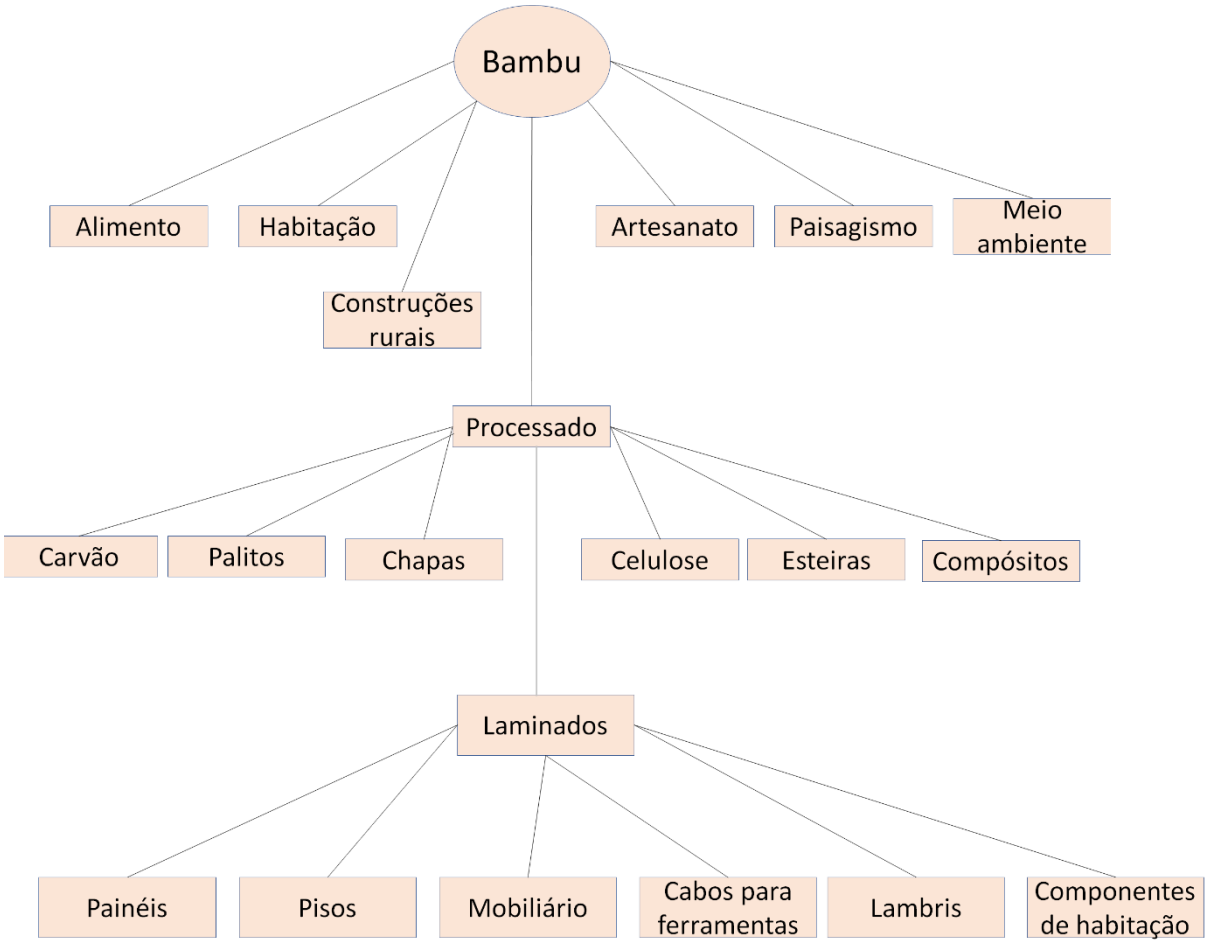
encontrado em diversos tipos de locais. Mas, o Bambu em condições de cultivo pode ser mais produtivo e adaptável em diferentes locais (Filguera *et al.*, 2006).

A área coberta por Bambu é estimada em 37 milhões de hectares, sendo que, 6 milhões na China, 9 milhões na Índia e outros 10 milhões espalhados em 10 países da América Latina e do Sudeste Asiático. No Brasil, o Acre é o estado que possui a maior área continua com plantações nativas de Bambu cerca de 7 milhões de hectares (Pereira *et al.*, 2008).

O bambu é o vegetal com maior velocidade de crescimento. Seus colmos, como são chamadas as varas, atingem seu comprimento final (que pode ultrapassar 30 m) em até seis meses. Possui um poder de renovação muito grande, sendo que após o plantio, emite brotos anualmente, não sendo necessário replantá-lo. O corte seletivo dos colmos maduros, realizados anualmente, não prejudica a sanidade da planta, e ainda proporciona uma maior ventilação e insolação para ela, contribuindo positivamente com o seu desenvolvimento (Nunes, 2005).

Essas características, pode fazer do bambu uma fonte carbonácea abundante para a produção de carvão ativado. O bambu tem sido amplamente utilizado em muitos campos, como fibra de carbono (Han et al., 2017), produção de biomassa para energia renovável e limpa, aproveitando o seu crescimento rápido. Ele também pode ser aplicado em obras e arquitetura, pois suas fibras possuem uma considerável resistência mecânica, suportando principalmente aos esforços de tração quando solicitadas, além de rápido crescimento e outras características favoráveis (Silva, 2018). A Figura 2 apresenta a cadeia de transformação do bambu.

Figura 2: Cadeia de transformação do bambu.



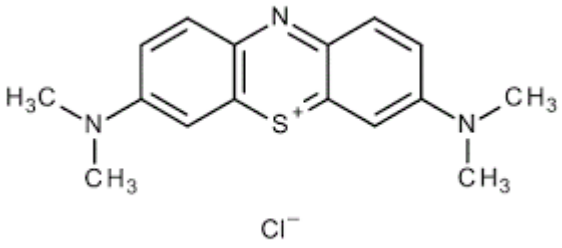
Fonte: Adaptado de Pereira (2006) apud RODRIGUES (2017).

2.4 Corante azul de metileno

Segundo a Abit (Associação Brasileira da Industria têxtil e de Confecção) a indústria têxtil faturou 190 bilhões em 2021 e processou 2,16 milhões de toneladas de tecidos em 2021 (procure essa referência no site da Abit e coloque conforme as regras ABNT). Esse volume de malhas produzidas gera grandes volumes de efluentes (líquidos, sólidos e gasosos) que são lançados no meio ambiente (Souza & Rosado, 2009). Um grande problema para o ramo têxtil, está na remoção dos corantes sintéticos desses resíduos líquidos. Segundo estudos, aproximadamente -20% das 20 t/ano de corantes consumidos pela indústria têxtil, são descartados sem o devido tratamento; esse volume está associado na incompleta fixação do corante à fibra do tecido, durante o processo de tingimento (Kunz et al., 2002; Dallago & Smaniotto, 2005).

Dentre os corantes utilizados pelo setor, podemos citar o azul de metileno, composto catiônico, conforme mostra a Figura 3, amplamente usado no processo de tingimento de algodão, madeira, lãs, entre outros. Quando manejado incorretamente, o descarte inadequado em rios e lagos afeta a transparência das águas, limitando a passagem de radiação solar, diminuindo a atividade fotossintética natural provocando alterações na biota aquática e originando toxicidade aguda e crônica desses ecossistemas (Kunz et al., 2002; Silva & Oliveira, 2012).

Figura 3: Estrutura molecular do azul de metileno.



Fonte: Honorato, 2015.

Segundo Borba (2012) e Guler e Sarioglu (2013), se faz necessário o tratamento de efluentes contaminados com esse tipo de composto, utilizando-se técnicas que sejam eficientes e apresentem baixo custo. Dentre as tecnologias de tratamento convencionalmente utilizadas na remoção de corantes dos corpos d'água destacam-se os processos de coagulação química, de oxidação química, de fotodegradação, de filtração por meio de membranas, de troca iônica e de sorção, como a adsorção e a biossorção.

Segundo Gonçalves (2007), o método da adsorção vem sendo muito empregado no tratamento desses efluentes corados devido ao seu baixo custo e facilidade de operação; esta técnica se baseia na remoção desses contaminantes pela interação entre o corante com algum material adsorvente. Um exemplo, é o carvão de fibra de juta, obtida a partir do caule da planta que foi utilizado com eficiência na remoção do corante azul de metileno de soluções aquosas (Stavropoulos; Zabaniotou, 2005).

2.5 Adsorção

A adsorção é o mecanismo utilizado pelo carvão ativado que, através da sua porosidade, permite que este material seja utilizado para eliminação de cor, odor, gosto e substâncias químicas dissolvidas na água ou ar. A área superficial do carvão ativado comercial varia de 600 a 1600m²/g, estando geralmente na faixa de 900m²/g (Fernandes et al., 2010). Também pode ser definido como o processo que envolve a transferência das moléculas de corante de uma fase aquosa para a superfície das partículas de um adsorvente (Cobeq, 2014).

Após a década de 50, tornou-se comum o uso do carvão ativado para tratamento e purificação da água e no controle de emissão de poluentes (Schettino, 2004). Estudos experimentais têm demonstrado que o carvão ativado é um dos adsorventes mais eficientes na remoção de corantes em solução (Rafatullah et al, 2010; Dural et al., 2011).

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é sintetizar carvão ativado a partir do Bambu Gigante *Dendrocalamus giganteus*, conhrcido na região de São João Evangelista - MG “bambu de ponte” e avaliar a eficiência de remoção do corante azul de metileno por adsorção de amostras sintéticas preparadas em laboratório.

3.2 Objetivos específicos

- Síntese de carvão ativado granular utilizando bambu gigante (*Dendrocalamus Giganteus*).
- Caracterização do material obtido utilizando diferentes técnicas e temperaturas.
- Ativação química do carvão com o agente ativante $FeCl_3$.
- Estudo da aplicação dos materiais obtidos na remoção das moléculas modelo do corante azul de metileno.

4. METODOLOGIA

4.1 Síntese de carvão ativado granular a partir do Bambu *Dendrocalamus giganteus*

O Bambu foi colhido, seco a sombra, e triturado em moinho de faca da ACB Labor, O material triturado foi selecionado em peneira tipo Tamis, o material foi homogeneizado com a granulometria entre 0,25 e 0,175 mm.

Figura 4: Bambu in natura triturado.

Fonte: Autora.

O método de ativação química foi conduzido utilizando $FeCl_3$ como agente ativante, a razão bambu/$FeCl_3$ foi de 1:1. A solução de cloreto de ferro III ($FeCl_3$) foi preparada com 1L de água destilada, a essa solução foi adicionado o bambu moído, a mistura bambu agente ativante foi deixada sob agitação e aquecimento (60^{o}C) até a secagem por 72 horas. Após esse processo o material resultante foi seco em estufa com circulação de ar forçada por 24 horas a uma temperatura de 110 °C.

Depois de seco, o material foi carbonizado em forno mufla. Na operação do forno, foi utilizado a taxa aquecimento de 10 °C min^{-1} até alcançar uma temperatura de 200^{o}C, 300^{o}C,

400ºC ou 500ºC e, após atingir a temperatura final, o material permaneceu neste patamar por 60 minutos. A Figura 5, mostra algumas imagens desse processo.

Figura 5: Processo de combustão no forno mufla. 1°: Bambu triturado no cadinho; 2°: Cadinho com bambu triturado, dentro do recipiente de ferro. 3°: Recipiente a base de ferro, no forno mufla;

Fonte: Autora.

Após a carbonização, o material foi lavado com solução de ácido clorídrico 5% até eliminação do agente ativante seguido por lavagem exaustiva com água deionizada até que o pH alcançasse valores entre 6 e7. Em seguida, o material foi seco à 110 °C por 24 horas em estufa e armazenado em um dessecador. A Figura 6, mostra o carvão após o processo de lavagem.

Figura 6: Carvão ativado com o agente $FeCl_3$, após o processo de lavagem.

Fonte: Autora.

4.2 Estimativa da área superficial

Outra informação importante que foi obtida dos carvões ativados sintetizados neste trabalho foi a área superficial. Essa é uma informação relevante, já que, interfere na capacidade do carvão ativado em adsorver os contaminantes (Gregg e Sing, 1982; Rouquerol *et al.*, 1999c; Angın *et al.*, 2013). A técnica analítica mais adotada, e que foi utilizada neste trabalho, é a de Brunauer-Emmett-Teller (BET) (Brunauer *et al.*, 1938). Essa técnica também permite obter informações a respeito do volume de poros por meio da aplicação do modelo de Dubinin-Radushkevich (Dubinin *et al.*, 1965).

As áreas superficiais e os volumes de poros foram obtidos a partir de isotermas de adsorção/dessorção de N_2 a 77 K. As isotermas de adsorção-dessorção de nitrogênio a 77 K dos materiais serão realizadas no Laboratório 153, do DQ – UFMG, em um equipamento Autorsorb-1Q2 (Quantachrome Instruments Corp.). Antes da análise, as amostras serão desgaseificadas a 150 ºC por 24 h. Para determinação da área superficial específica será utilizado o método BET (Brunauer, Emmett e Teller), que leva em consideração a formação de multicamadas do adsorvato sobre o adsorvente sólido. Já os volumes de poros, será realizada pelo modelo de Dubinin-Radushkevich (Dubinin *et al.*, 1965).

4.3 Ponto de carga zero (PCZ)

Outro fator que influencia na performance do adsorvente é o pH da superfície do carvão, conhecido como pH ponto de carga zero (pH-PCZ). Quando o adsorvente se encontra em pH acima do pH-pzc, a superfície do adsorvente encontra-se carregado negativamente. Nessas condições, a adsorção de substâncias com carga positiva é favorecida (Faria *et al.*, 2004; Prahas *et al.*, 2008).

Por outro lado, se o adsorvente se encontra em pH abaixo do pH-pcz, a superfície do adsorvente encontra-se positivamente carregado. Nessas condições o adsorvente encontra-se carregado positivamente, isso favorece a interação com adsorvatos negativamente carregados como complexos metálicos, corantes e outros (Faria *et al.*, 2004; Prahas *et al.*, 2008).

A determinação do pH-pcz no carvão ativado foi realizada pelo "método drifts" muito utilizado na caracterização da superfície do carvão ativado. Nesse método, uma massa conhecida de carvão foi colocada em contato sob agitação com soluções contendo uma certa concentração de um sal (por exemplo, NaCl) em uma faixa de pH (geralmente pH 2-11) por 48 horas. Após esse período será realizado a leitura do pH. O pH também foi medido antes do início do procedimento, ou seja antes do período de 48 h. O ponto em que não ocorre mudança de pH é considerado o pH-pcz, uma vez que neste ponto a superfície do carvão se comporta como um tampão (Newcombe *et al.*, 1993; Rivera-Utrilla *et al.*, 2001; Faria *et al.*, 2004; Prahas *et al.*, 2008). A Figura 7, mostra imagens do processo de obtenção do ponto de carga Zeta.

Figura 7: Etapas para obtenção do ponto de carga Zeta. 1°: Leitura de pH; 2°: Soluções com diferentes pH; 3°: Soluções sob agitação em mesa agitadora.

Fonte: Autora.

4.4 ADSORÇÕES

Para os testes de adsorção preparou-se 500 mL de solução estoque, onde continha uma concentração de 50 mg/L do corante azul de metileno, posteriormente fez-se a diluição para uma solução de 50 ml contendo 6 mg/L do contaminante. Foi colocado em agitação um becker de 100 ml, contendo 30 ml da solução diluída, com 50 mg de carvão. A solução ficou em agitação por 1 hora, onde foram retiradas amostras de aproximadamente 2 mL e realizadas leituras nos intervalos de 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos. As leituras foram realizadas no aparelho espectrofotômetro da marca Even IL-593, que é capaz de medir o comprimento de ondas que passa através das cubetas, o equipamento foi calibrado para o comprimento de ondas de 670 nanômetros. A Figura 8, mostra as etapas do processo de adsorção.

Esse procedimento foi realizado em triplicatas, para cada temperatura avaliada e os resultados apresentados são as médias desses valores. Após o ensaio de adsorção pode-se observar que as amostras apresentaram tonalidade incolores ou azul mais claro, demonstrando a capacidade total ou parcial, das amostras de carvão ativado de bambu na remoção do corante azul de metileno, em meio aquoso.

Figura 8: Etapas do teste de adsorção. A: Diferentes concentrações do corante; B: Azul de metileno na concentração de 6 mg/L; C: Solução na cubeta para teste de adsorção.

Fonte: Autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RENDIMENTO DO MATERIAL

5.1.1 Carvão produzido a partir de bambu

O rendimento do material foi calculado pela relação entre a massa de carvão ativado obtido e a massa de matéria-prima utilizada na produção. O rendimento dos carvões ativados obtidos a partir do bambu sem o agente ativante ($FeCl_3$) foram mais elevados nos materiais produzidos em baixas temperaturas conforme mostradas (Tabela 2).

Tabela 2 – Rendimento percentual do carvão produzido sem o agente ativante ($FeCl_{3)}$, em diferentes temperaturas.

Temperatura	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimento
200 °C	5,51	3,59	65,10%
300 °C	6,44	2,22	34,51%
400 °C	5,37	1,38	25,67%
500 °C	5,17	1,12	21,59%

Fonte: A Autora.

Comportamento semelhante também foi constatado nos carvões ativados produzido utilizando o agente ativado $FeCl_3$ (Tabela 3). O maior rendimento em baixas temperaturas podem ser atribuídos a pequena decomposição térmica das ligninas, celuloses, hemiceluloses e outros constituintes da estrutura do bambu. Já em temperaturas mais elevadas a decomposição ocorrem em maior extensão por isso constatamos o baixo rendimento na produção de carvão ativado.

Tabela 3 – Rendimento percentual do carvão ativado com o agente $FeCl_3$.

Temperatura	Peso inicial (g)	Peso após lavagem (g)	Peso final (g)	Rendimento
200 °C	12,31	8,01	7,33	59,54%
300 °C	10,57	7,84	6,30	59,60%
400 °C	11,03	5,96	4,01	36,35%
500 °C	11,12	4,16	3,19	28,67%

Fonte: A Autora.

Comportamento semelhante também foi constatado em carvões ativados produzidos a partir de biomassa diferentes; casca de coco, resíduos de madeira, caroço de azeitona e bagaço de cana-de-açúcar. O baixo rendimento na produção de carvão ativado a partir de biomassa é uma limitação desse processo, mas é compensado pelo baixo custo da matéria-prima em relação aos precursores de origem mineral, como o carvão mineral, por exemplo.

5.2 Ponto Zeta

O conhecimento da química da superfície de um material é importante pois ela irá determinar o seu potencial de utilização como adsorvente. Portanto, os potenciais de carga zero (pHpcz) dos carvões ativados produzidos nesse trabalho pode ser um dos fatores utilizados para elucidar as propriedades de adsorção do carvão ativado.

O ponto de carga zero, do carvão ativado, é o pH em que a carga líquida de sua superfície é neutra, nesse ponto as cargas negativas e positivas estão equilibradas. (Marimoto, 2019). Outro fator que pode ajudar a modificar a carga superficial do carvão ativado e de outros adsorventes é o pH da solução do agente contaminante. Essa variante pode influenciar no grau de ionização dos grupos funcionais da superfície do carvão ativado ou agente adsorvato (Mall, 2005).

O ponto de carga zero pode ser utilizado para avaliar a influência de diferentes fatores, como pH e concentração iônica, na estabilidade das partículas em suspensão. Estudos adicionais podem ser realizados para avaliar o efeito desses fatores na estabilidade das partículas de carvão ativado granular produzido a partir do bambu gigante, o que pode fornecer informações importantes para a otimização do processo de produção e para a aplicação em diferentes condições de tratamento de água.

O presente trabalho, levou-se em consideração a influência do fator pH na estabilidade das partículas do carvão e sua influência no resultado de adsorção. Como resultado encontramos que o ponto zero dos carvões produzidos sem ferro como agente ativante possuem potencial de carga zero mais elevadas do que os mesmos produzidos com Fe (Tabela 4)

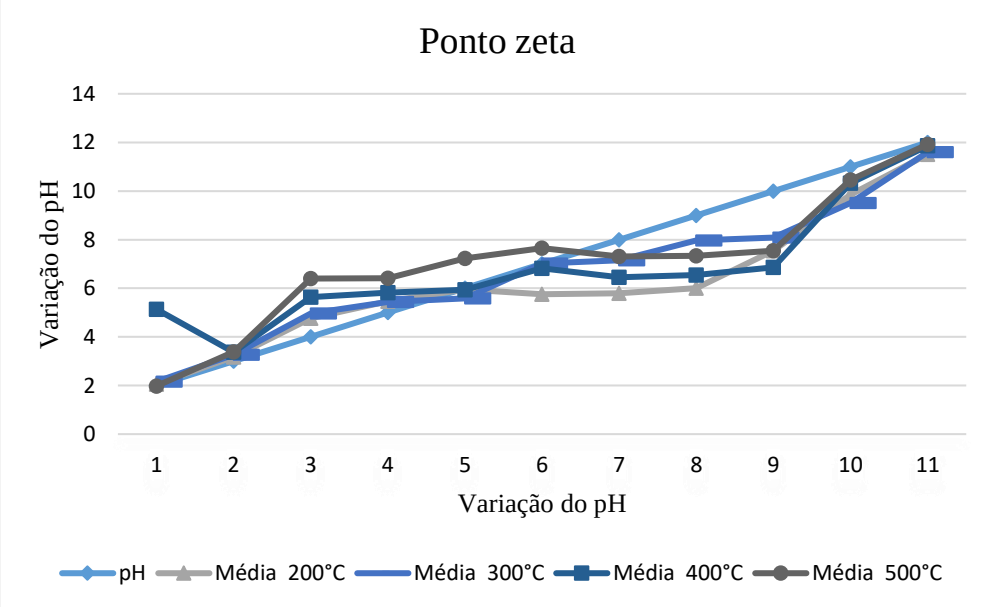
Tabela 4: Potencial de carga zero dos carvões ativados produzidos em diferentes temperaturas.

Temperatura de ativação (C°)	Carvão ativado sem Fe	Carvão ativado com Fe
200	5,95	2,64
300	7,20	2,64
400	6,82	2,64
500	7,31	2,64

Fonte: Autora.

A influência da temperatura no comportamento do pH é evidente no carvão produzido apenas com ativação térmica, uma vez que cada amostra de carvão apresentou um ponto de carga zero distinto, conforme ilustrado no Gráfico 1. Com base nas propriedades do carvão ativado, pode-se inferir que quanto menor o ponto de carga zero, melhores serão os resultados de adsorção, uma vez que haverá maior quantidade de cargas negativas, o que, consequentemente, atraíra mais efetivamente o corante de carga positiva. Dessa forma, ao comparar exclusivamente esse fator, antecipa-se que o carvão produzido a 200°C exibirá resultados superiores.

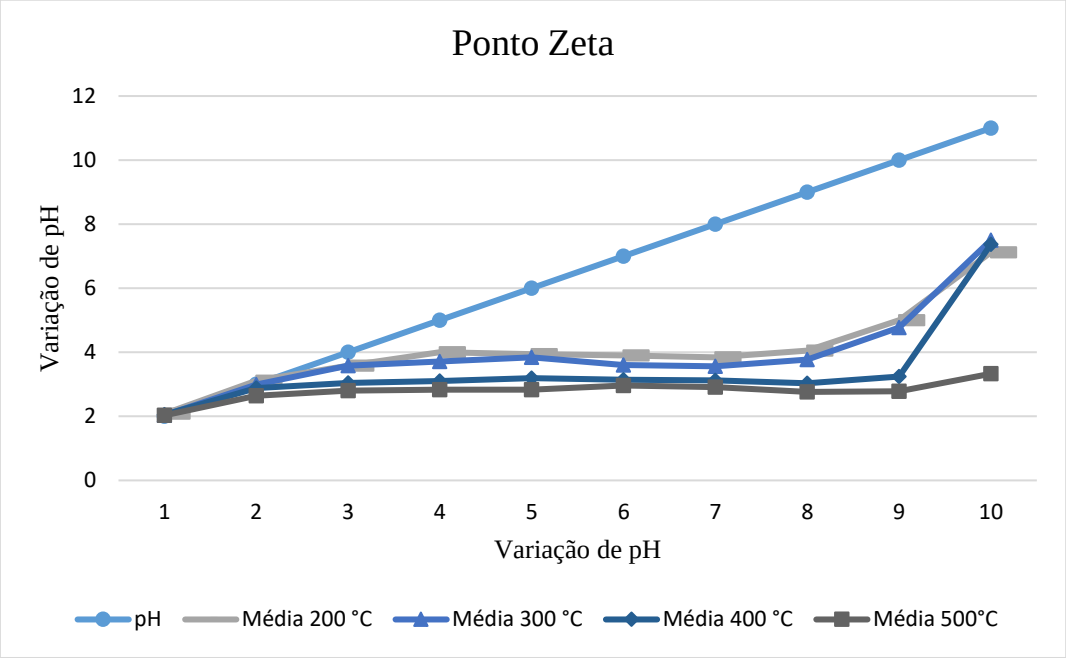
Gráfico 1 – Resultados dos testes de Ponto Zeta dos carvões sem $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.



Fonte: A Autora.

O comportamento do carvão ativado por meio do processo de ativação química com FeCl3 demonstrou diferenças significativas no Gráfico, onde inicialmente todos seguem um padrão semelhante, conforme ilustrado no Gráfico 2. Entretanto, ao determinar o ponto de carga zero, foi observado que todos os carvões cortam o eixo no valor de 2,64. Essa uniformidade se justifica pelo pH do FeCl3, que possui uma faixa de variação entre 1 e 2. Dessa forma, ao comparar exclusivamente esse fator, espera-se que os carvões tenham comportamentos iguais.

Gráfico 2 – Resultados dos testes de Ponto Zeta do carvão ativado com $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.



Fonte: A Autora.

5.3 Áreas superficiais medidas por BET.

Na Tabela 5 estão as propriedades texturais dos CA produzidos neste trabalho. Verificou que a ativação química com o $FeCl_3$ elevou a área superficial, a porosidade dos CA também foi alterada. Nos CA produzidos em 200 ^oC a área superficial quadriplicou de tamanho, no material sintetizado a 300 e 400 ^oC as áreas aumentaram 5 e 9 vezes respectivamente. A exceção foi na amostra produzida a 500 ^oC, nessa amostra tanta área quanto o volume de poros teve redução de aproximadamente 50%. Neste trabalho foi fixado a proporção precursor (bambu)/cloreto de

ferro (FeCl3) na proporção de 1:1. As melhores áreas superficiais foram obtidas nos carvões produzidos a 400 e 500 ºC.

Tabela 5 – Propriedades texturais dos carvões

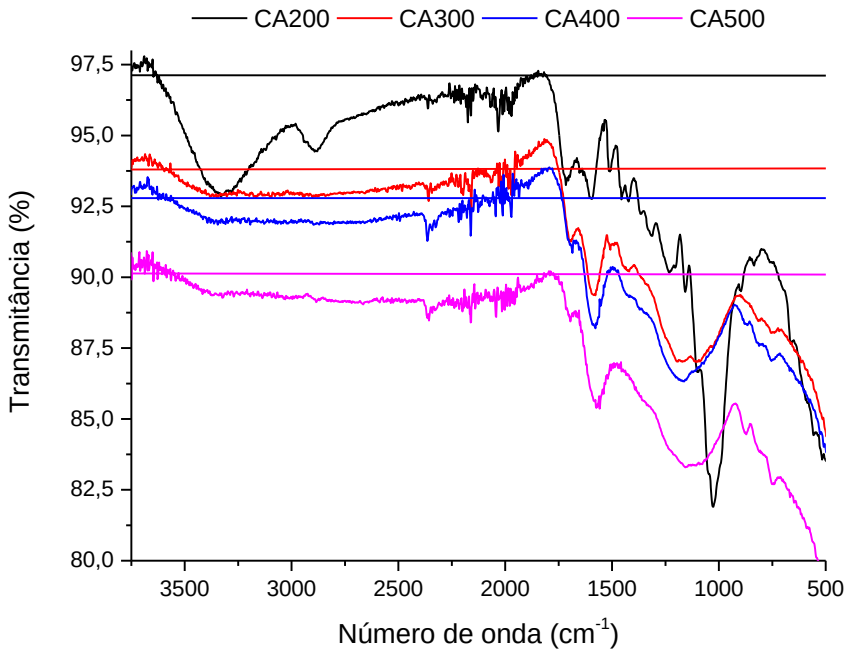
Amostra	**S_{BET} (m^2/g)**	**Volume de poros cm^3/g**
Bambu sem ativar	0,381000	0,000135
CA 200	0,740000	0,000219
CA 200 Fe	3,180000	0,001200
CA 300	14,320000	0,006400
CA 300 Fe	76,970000	0,032800
CA 400	36,520000	0,017200
CA 400 Fe	229,500000	0,105100
CA 500	310,000000	0,143300
CA 500 Fe	105,800000	0,050600

Fonte: Autora.

5.4 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

Os espectros do FT-IR dos carvões sem o agente ativante, podem ser observados nas Figuras 9. Os grupos funcionais orgânicos das superfícies dos carvões ativados foram analisados entre 4.000 cm^{-1} e 500 cm^{-1}.

Figura 9 - Espectroscopia de absorção na região do infravermelho do carvão sem ativação.



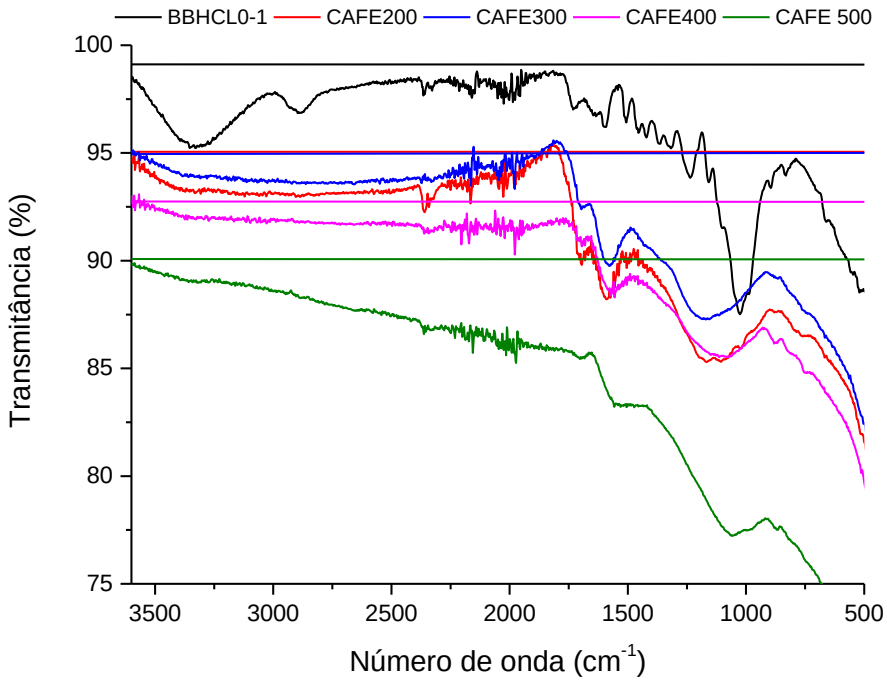
Fonte: A Autora.

No espectro de infravermelho do material carbonizado a 200 ºC, constata-se uma banda larga na região 3.375 cm^{-1} atribuído ao estiramento do grupo O-H devido à água adsorvida pelo bambu, também pode ser constatado uma banda em 2.933 cm^{-1} que pode ser atribuída a deformação axial C-H.

As duas bandas localizadas em 1.750 cm^{-1} e 1.625 cm^{-1} podem ser atribuídas aos estiramentos C=C, essas bandas, também podem ser atribuídas aos estiramentos C=O conjugados. A banda de absorção em 1.250 cm^{-1} pode estar relacionada as ligações C-O dos grupos ésteres, fenóis e hidroxilas presentes na superfície do material de partida (bambu), esses constituintes fazem parte da matriz celulósica. A banda intensa de adsorção em 1.037 cm^{-1} pode ser atribuída a deformação axial simétrica dos grupos C-O-C.

Os espectros de FT-IR dos carvões ativados quimicamente com $FeCl_3$ nas temperaturas a 200 ºC, 300 ºC, 400 ºC e 500 ºC, podem ser vistos na Figura 10.

Figura 10 - Espectroscopia de absorção na região do infravermelho do carvão ativado com o agente $FeCl_3$.



Fonte: A Autora.

A análise da Figura 10, revela a diminuição das bandas de absorção na região de 3375 cm^{-1} relacionada ao espectro da matéria-prima (Figura 9). Mas, a banda referente às deformações do grupo O-H permaneceram devido à adsorção de água pelo carvão ativado. Constata, o surgimento da banda de absorção em 1.593 cm^{-1} que é referente a deformação C=O, essa banda pode evidenciar a presença de carbonila conjugada a anéis aromáticos, isso pode sugerir que a superfície desse carvão possui características básicas.

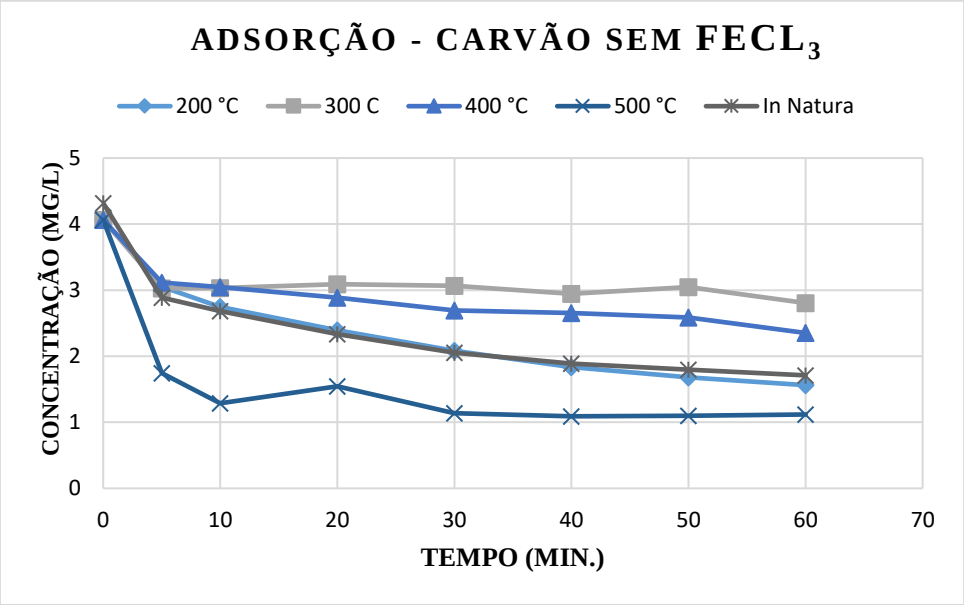
Nos espectros de carvão ativado e nos dos carvões ativados quimicamente com $FeCl_3$ constata-se uma banda larga que se inicia em 1500cm^{-1} e vai até 1000cm^{-1}, atribuída ao estiramento C-O referente aos grupos funcionais éteres, álcoois, fenólicos e a deformação O-H em fenóis e ácidos carboxílicos. Também se constata o desaparecimento dos picos referentes ao estiramento C-H, (2.928 cm^{-1}) isso pode ser relacionado ao alto teor de materiais carbonáceos presente nos carvões ativados. Nos carvões, ativados com $FeCl_3$ e sem ferro, calcinado a 200 ^{o}C às bandas em 1.035 cm^{-1} que são atribuídas a deformação axial simétrica dos grupos C-O-C são mantidas, provavelmente, a baixa temperatura de calcinação do material de partida.

5.5 ADSORÇÃO

5.5.1 Carvão produzido a partir de Bambu

O Gráfico 3, apresenta o decaimento de adsorção do azul de metileno, para os carvões sem ativação, produzidos entre as temperaturas de 200°C e 500°C.

Gráfico 3 – Resultados dos testes de adsorção do carvão sem $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.



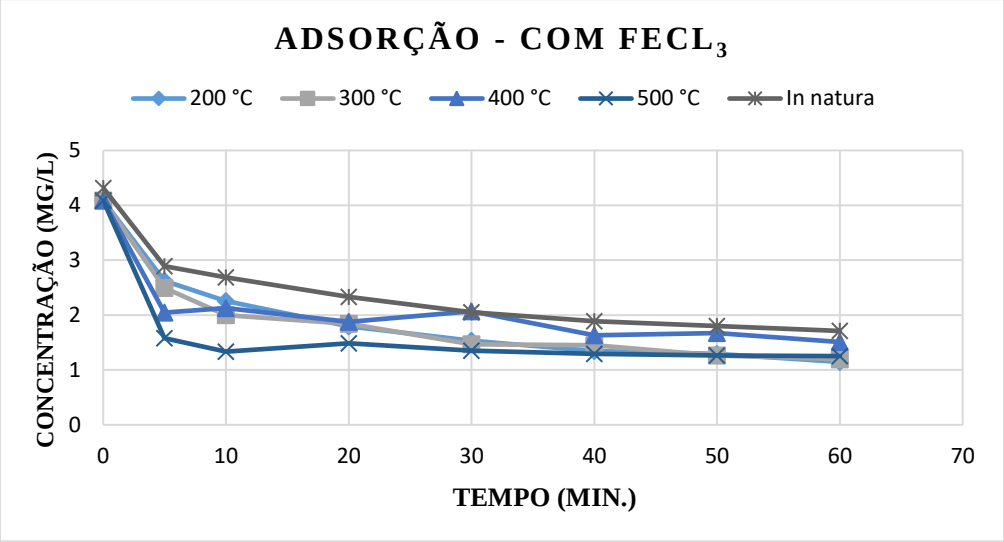
Fonte: A Autora.

Os testes de adsorção indicaram que o carvão produzido a 300°C apresentou uma menor capacidade de adsorção. Esse carvão iniciou o teste com a concentração de azul de metileno em 4,08 mg/L, tendo sua concentração reduzida para 3,03 mg/L aos 10 minutos e finalizando com uma concentração de 2,80 mg/L, conforme o Gráfico 3. Por outro lado, o carvão produzido a 500°C, sem o processo de ativação, apresentou os melhores resultados em relação ao método de adsorção. Esse carvão iniciou o teste com uma concentração de 4,08 mg/L, apresentando uma concentração de 1,28 mg/L aos 10 minutos e finalizando os testes na concentração de 1,11 mg/L.

5.5.2 Carvão ativado com $FeCl_3$

O Gráfico 4, apresenta o decaimento de adsorção do azul de metileno, para os carvões que passaram por ativação, produzidos entre as temperaturas de 200°C e 500°C.

Gráfico 4 – Resultados dos testes de adsorção do carvão ativado com $FeCl_3$ em diferentes temperaturas.



Fonte: A Autora.

Para os carvões que passaram pelo processo de ativação química com o $FeCl_3$, processo esse que aumenta o volume de poros e consequentemente a área superficial, o resultado inicial para o produzido a 300°C, foi de 4,08 mg/L, tendo sua concentração reduzida para 2 mg/L aos 10 minutos e finalizando com a leitura de 1,19 mg/L, conforme o Gráfico 4. Por outro lado, o carvão produzido a 500°C, apresentou os melhores resultados em relação ao método de adsorção. Esse carvão iniciou o teste com uma concentração de 4,08 mg/L, apresentando uma concentração de 1,33 mg/L aos 10 minutos e finalizando os testes na concentração de 1,25 mg/L, conforme o Gráfico 4. O melhor resultado do carvão produzido a 500°C, se deve a maior interação química da superfície do carvão com o contaminante azul de metileno.

CONCLUSÃO

Neste estudo, foi produzido carvão ativado granular a partir do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) e avaliada sua capacidade de adsorção para o corante azul de metileno em água. O carvão ativado granular produzido a 500°C, obteve melhores resultados, apresentou uma área superficial específica de 310 m^2/g e um volume de poros de 0,143300 g/cm^3, atingindo um percentual de adsorção de 72,79%. Estes resultados indicam que o carvão ativado granular produzido a partir do bambu gigante pode ser uma alternativa promissora para a remoção de corantes em água. Os resultados obtidos indicaram que o material produzido apresentou um alto rendimento e uma alta capacidade de adsorção do corante azul de metileno em solução. Além disso, o estudo também forneceu informações importantes sobre as características físico-químicas do material, incluindo sua área superficial específica, e ponto Zeta.

Considerando o crescente interesse na busca por soluções mais sustentáveis e econômicas para o tratamento de água, o uso do bambu gigante como matéria-prima para a produção de carvão ativado granular pode ser uma alternativa interessante para a produção de materiais adsorventes de alta qualidade. No entanto, é importante destacar que os resultados obtidos neste estudo são preliminares e que mais pesquisas são necessárias para avaliar a eficácia e a aplicabilidade do material em outras soluções de corantes e contaminantes presentes em água. Além disso, é necessário avaliar a viabilidade técnica e econômica da produção em larga escala do carvão ativado granular a partir do bambu gigante. Em resumo, o presente estudo contribui para o desenvolvimento de novas soluções para o tratamento de água e abre caminhos para novas pesquisas sobre o uso do bambu gigante como matéria-prima para a produção de materiais adsorventes de alta qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação americana de saúde pública (APHA). **Métodos padrão para o exame de água e águas residuais**. Washington: APHA, 2005.

BENTES, Vera Lúcia Imbiriba. "**Preparação e caracterização de compósitos a base de fosfatos de ferro suportados em carvões ativados de resíduos de caroços de açaí e do endocarpo de tucumã para aplicação ambiental**." (2017).

BRITO, José Otávio, Mário, TOMAZELLO FILHO, e Antonio Luiz Barros Salgado. "**Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu**." IPEF, Piracicaba 36 (1987): 13.

CANTO, Fusarelli e cols. **Produção de carvão ativado a partir de resíduos de madeira de marcenarias para remoção de corantes em solução aquosa**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UDESC, 2014.

DA SILVA Ries, Lúcia Allebrandt, e Joyce Helena da Silveira. "**Remoção de Cr (VI) por adsorção empregando carvão ativado comercial e carvão vegetal produzido a partir da casca de arroz**." Brazilian Journal of Development 5.6 (2019): 6477-6494.

DENG, Xinyi Huang. et al. **Modificação de superfície e caracterização de fibras de carvão ativado à base de bambu por tratamento com amônia**. Journal of Hazardous Materials, v. 164, n. 2-3, p. 1043-1049, 2009.

FONSECA, Luís Adão e cols. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão ativado**. Química Nova, v. 31, n. 2, p. 318-325, 2008.

GOETZ, Nadine Maressa, et al. "**Estudo da eficiência do uso de bambu como bioadsorvente na remoção de azul de metileno**." Matéria (Rio de Janeiro) 27 (2022).

HONORATO, Andressa C., et al. "**Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais**." Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 19 (2015): 705-710.

KALDERIS, Dimitrios. et al. **Uma revisão dos modelos cinéticos e de equilíbrio usados para modelagem de fenômenos de adsorção em leitos empacotados. Journal of Hazardous Materials**, v. 152, n. 1, p. 1-22, 2008.

LEAL, Paulo Vitor Brandão, Jeancarlo Pereira dos Anjos, e Zuy Maria Magriotis. "**Estudo da adsorção do corante azul de metileno em caulinita rosa**." Journal of Biotechnology and Biodiversity 2.3 (2011): 38-42.

LYU, Hao. et al. **Adsorção de azul de metileno de soluções aquosas por carvão de bambu**. Journal of Chemistry, v. 2013, p. 1-8, 2013.

MORAIS, Rayssa de Medeiros. "**Produção de carvões ativados preparados a partir de diferentes materiais precursores**." (2017).

MUNOZ, Marta. et al. **Otimização da preparação de carvões ativados de cascas de amêndoas: Aplicação na remoção de laranja ácida 7 de soluções aquosas**. Journal of Hazardous Materials, v. 162, n. 2-3, p. 590-598, 2009.

NASCIMENTO, Igor José do, e Éder Rogério Stela. "**Produção de Carvão Ativado a partir da Moinha de Carvão Vegetal**." (2015).

NASCIMENTO, RF; RIBEIRO, C. **Adsorção de corantes têxteis em carvão ativado produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 8, p. 856-861, 2010.

OLIVEIRA, Silze Pires, Weber Lara Lima da Silva, e Rúbia Ribeiro Viana. "**Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio**." Cerâmica 59.350 (2013): 338-344.

OSTAPIV, Fabiano. **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (Phyllostachys pubescens) com foco em pisos**, 2007, 111f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007

PAIM, Ágata, e Miguel Pinto de OLIVEIRA. "**Aplicação do carvão ativado vegetal no abrandamento da dureza na água de alimentação de caldeira.**" XIX Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas. 2010.

PARVATHY, MN et al. **Adsorção de Azul de Metileno em Carvão Ativado Produzido a partir do Resíduo da Casca de Mandioca: Equilíbrio e Estudos Cinéticos**. Journal of Chemistry, v. 2013, p. 1-9, 2013.

RODRIGUES, JC et al. **Carvão ativado de alta área superficial obtido a partir de resíduos de tijolo e seus ensaios de adsorção**. Química Nova, v. 36, n. 7, p. 1002-1006, 2013.

SANTOS, GHF, et al. "**Aplicação da fibra de bambu in natura e carvão ativado ósseo como adsorvente na remoção de corante azul de metileno**." Blucher Chemical Engineering Proceedings 1.2 (2015): 7222-7228.

SENA, Pedro Lucas Martins. "**Utilização de carvão ativado vegetal no processo de adsorção: uma revisão bibliográfica**." (2020).

THANGARAJAH, Vithushana e outros. "**Remoção aquosa de chumbo sob condições otimizadas usando carvão ativado de coco ativado por ácido fosfórico**." American Journal of Analytical Chemistry 11.12 (2020): 389.

WERLANG, Eliana Betina, et al. "**Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais**." Revista Jovens Pesquisadores (2013).