

III-317 - PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE CASCA DE PINHÃO MANSO

Flávia Pereira Puget⁽¹⁾

Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ e Professora das Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ).

Caroline Silva Dettogni⁽²⁾

Graduanda de Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ)

Grazielly Bertelli Santos⁽³⁾

Graduanda de Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ)

Endereço⁽¹⁾: Rua Augusto Sizenando Correia, 556 – De Carli - Aracruz - ES - CEP: 29194-044 - Brasil - Tel: +55 (27) 98826-4724 - Fax: +55 (27) 3302-8001 - e-mail: puget@fsjb.edu.br.

RESUMO

Carvão ativado é um material frequentemente empregado no tratamento de águas, de efluentes líquidos e de gases de exaustão. Diversos materiais carbonáceos podem ser utilizados na produção de carvão ativado. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da casca de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para a produção de carvão ativado, mitigando os impactos ambientais provocados por esse resíduo, além de avaliar a eficiência do carvão ativado produzido em relação ao do carvão ativado comercial. A fim de determinar as melhores condições de obtenção do carvão ativado, foram preparados carvões em diferentes temperaturas de ativação (400 °C, 500 °C e 600 °C), todos com um tempo de residência de 3 h. Para a produção do carvão ativado o material precursor foi impregnado com ácido fosfórico e carbonizado sob fluxo de 100 mL min⁻¹ de argônio. Para avaliar a eficiência do carvão produzido em relação ao carvão ativado comercial, foram realizados testes de adsorção nas concentrações de 10, 25, 50, 100, 250 e 500 ppm de azul de metileno. Os resultados permitem afirmar que a capacidade de adsorção para o carvão ativado produzido é compatível com a do carvão ativado comercial, o que torna promissor o uso da casca do pinhão manso para a produção de carvão ativado.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão Ativado, Pinhão Manso, Azul de Metileno.

INTRODUÇÃO

A *Jatropha curcas* L., mais conhecida como pinhão manso é uma planta perene da família Euphorbiaceae, que pode ser cultivada em solos pouco férteis e de clima desfavorável. De acordo com Peixoto (1973 apud VALE et al., 2011), seu fruto é constituído de 53 a 62% de semente e 38 a 47% de casca e pesa entre 1,53 e 2,85 g, variando de acordo com o tamanho do fruto.

Devido as suas características, o pinhão manso vem sendo considerado uma opção agrícola viável para a produção de biodiesel. No processo de produção do biodiesel a partir dessa matéria-prima, retira-se a semente do fruto, tendo como primeiro resíduo do processo a casca da biomassa (VALE et al., 2011). Entretanto, a casca contém princípios tóxicos (ésteres de forbol e curcina) e a presença de fatores antinutricionais, tornando imprópria sua utilização na alimentação animal (GUBITZ et al., 1999; MAKKAR et al., 1998). Atualmente, esse resíduo vem sendo utilizado no fornecimento de energia a partir de sua queima em caldeiras e fabricação de papel (GUSMÃO, 2010).

Segundo Tongpoothorn et al. (2011), por conter poucos nutrientes, o que não é adequado para a utilização como fertilizante agrícola, e também por ser abundante em celulose, hemicelulose e lignina, resulta em um resíduo de difícil digestão ou degradação. Uma alternativa apresentada por Tongpoothorn et al. (2011) para utilização desse resíduo foi à produção de carvão ativado, sendo este um material frequentemente empregado no tratamento de águas, de efluentes líquidos e de gases de exaustão.

O objetivo deste trabalho foi investigar a possibilidade de produzir carvão ativado a partir da casca de pinhão manso, e avaliar a qualidade do carvão produzido, em relação ao carvão comercial, através de testes de adsorção com soluções de azul de metileno em diferentes concentrações.

Carvão ativado é definido como um material carbonáceo que sofreu um processamento com a finalidade de aumentar sua porosidade interna, conferindo a capacidade de adsorver moléculas no interior de seus poros, o tamanho dos poros pode ser classificado como sendo: macro, meso e microporos (CLAUDINO, 2003). Segundo o autor, os microporos possuem diâmetro médio menor que 2 nm e contribuem para a adsorção de pequenas moléculas como gases e solventes comuns; os mesoporos tem diâmetro médio entre 2 e 50 nm, eles são de grande importância para adsorção de moléculas grandes, também proporcionam grande parte da área superficial de carvões produzidos a partir de ativação química; e os mesoporos são considerados sem importância para adsorção química e tem diâmetro médio maior que 50 nm.

Segundo Bansal e Goyal (2005) a preparação do carvão ativado envolve dois passos principais, a pirólise ou carbonização e a ativação do material após o processo de carbonização. A pirólise ou carbonização é a etapa de preparação do material, que consiste na remoção de matéria orgânica, através de sua decomposição térmica em atmosfera inerte. São eliminados na carbonização os componentes voláteis e gases leves, resultando em uma massa fixa de carbono, com estrutura porosa (EL-SHEIKH et al., 2004). A ativação é a etapa posterior à carbonização e tem por finalidade submeter o material carbonizado a reações secundárias, almejando a formação de novos poros e o aumento do diâmetro dos já existentes, ou seja, aumento de sua área superficial (RODRÍGUEZ-REINOSO; MOLINA-SABIO, 1998). O processo de ativação pode ser químico ou físico. A ativação química consiste na impregnação de agentes ativantes tais como: ácido fosfórico, cloreto de zinco, hidróxido de potássio entre outros, sobre o material ainda não pirolisado (KHALILI et al., 2000). A ativação física consiste na gaseificação do material carbonizado através de sua oxidação com gases (vapor d'água, CO₂, ar ou junção destes gases) a temperaturas entre 800 °C a 1000 °C (RODRÍGUEZ-REINOSO; MOLINA-SABIO, 1998). Os interstícios formados na etapa de ativação desempenham no carvão ativado uma excelente função como adsorvente (BANSAL E GOYAL, 2005).

A adsorção é um fenômeno físico-químico em que uma mistura de fluidos é colocada em contato com um sólido denominado adsorvente, e uma das espécies químicas da mistura (adsorbato) é retida pelo sólido, resultando em um fluido menos enriquecido na espécie adsorvida (MULLER, 2008). Esta pode ser química ou física. A adsorção química é a que as moléculas do adsorbato se unem à superfície do adsorvente por ligações químicas. E a adsorção física ocorre por forças de Van der Waals, onde há interação de dispersão, ou interação dipolo-dipolo, entre adsorbato e adsorvente (ATKINS, 1999).

A capacidade de adsorção que um material possui pode ser analisada quantitativamente por isotermas. Elas relacionam o equilíbrio entre a concentração de adsorbato na fase líquida e a concentração deste nas partículas adsorventes a temperatura constante. Sendo assim, uma isoterma de adsorção representa a quantidade de material adsorvido em relação à concentração ou à pressão no equilíbrio, a uma temperatura constante. As isotermas de adsorção mais utilizadas são a isoterma de Langmuir, isoterma de BET e a isoterma de Freundlich (ATKINS, 1999).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os frutos do pinhão manso da espécie *Jatropha curcas* L., foram disponibilizados pelo Instituto federal do Espírito Santo (Ifes) – Campus Itapina. O processo de descascamento foi realizado no Laboratório de Projeto das Faculdades Integradas de Aracruz.

Os procedimentos para a preparação do material, produção de carvão ativado, análise imediata e teste de adsorção, foram realizados no Laboratório de Projetos das Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ.

Após a moagem da casca do pinhão manso, a fração com granulometria menor que 250 µm foi separada para ser utilizada na análise imediata e para a produção do carvão ativado.

Na análise imediata foram feitos testes para caracterização da biomassa em estudo. Nessa análise é quantificado o teor de umidade, o teor de voláteis, o teor de cinzas e o teor de carbono fixo contido na biomassa (NOGUEIRA E RENDEIRO, 2008).

O carvão ativado produzido foi triturado em um almofariz e passado nas peneiras de 60, 80 mesh. Para teste de adsorção com azul de metileno foi utilizado todo o material com granulometria menor ou igual 177 µm, sendo esta granulometria, igual à do carvão comercial, de modo a permitir a comparação dos resultados de adsorção.

ANÁLISE IMEDIATA

Segundo Nogueira e Rendeiro (2008), os parâmetros da análise imediata podem ser determinados conforme apresentado a seguir.

Teor de umidade (T_u): O teor de umidade foi determinado pesando 10 g de biomassa e colocando-a em estufa previamente aquecida a $105^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ até que a massa permanecesse constante. O teor de umidade foi calculado pela Equação 1.

$$T_u(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

Sendo m_1 a massa inicial da amostra úmida e m_2 a massa final da amostra após a secagem, ambas em gramas.

Teor de voláteis (T_v): O teor de voláteis foi quantificado a partir da medida da massa da biomassa que volatilizou durante o aquecimento de uma amostra previamente seca. A análise foi realizada em forno tipo mufla (Sppencer Scientific) sob atmosfera inerte, em temperaturas de aproximadamente $850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, onde permaneceu por sete minutos. O teor de voláteis foi então determinado pela Equação 2, sendo este expresso em base seca.

$$T_v(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad \text{equação (2)}$$

Sendo m_2 a massa da amostra seca antes do início do experimento e m_3 a massa após o experimento, ambos em gramas.

Teor de cinzas (T_c): Neste ensaio, foi colocado em um cadinho aproximadamente 1,0 g de biomassa e levado a um forno tipo mufla (SppencerScientific). A temperatura foi elevada gradativamente até $710^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, e nessa condição permaneceu por uma hora. Ao final, dentro do cadinho restaram somente as cinzas. O teor de cinzas foi calculado utilizando a Equação 3.

$$T_c(\%) = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad \text{equação (3)}$$

Onde m_3 é a massa da amostra sem voláteis antes do experimento e m_4 a massa da amostra após o experimento (apenas cinzas), ambos em gramas. O teor de cinzas expresso em base seca.

Teor de carbono fixo (T_{cf}): Após a determinação dos teores de umidade, de matéria volátil e de cinzas da amostra, o teor de carbono fixo (T_{cf}) foi obtido por diferença, ou seja, conforme a Equação 4.

$$T_{cf}(\%) = 100 - [T_v(\%) + T_c(\%)] \quad \text{equação (4)}$$

Rendimento do carvão ativo (R_c): O rendimento foi calculado a partir da quantidade de casca utilizada e a massa de carvão ativado produzido, como mostra a Equação 5.

$$R_c(\%) = \left(\frac{m_c}{m_p} \right) \times 100 \quad \text{equação (5)}$$

Onde, m_c é a massa de carvão ativado obtido, m_p é a massa do farelo do precursor.

PREPARAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

A metodologia utilizada neste trabalho foi determinada com base no trabalho de Ramos et al. (2009). Inicialmente, a casca do fruto foi triturada em um liquidificador e peneirada até um tamanho menor do que 250

µm. Foi pesado 10 g de casca de pinhão manso já triturada e está foi impregnada com ácido fosfórico (H₃PO₄), na relação de 1:1 em massa (casca: H₃PO₄).

A fim de produzir o carvão ativado, os materiais foram pirolisados e ativados por tratamento térmico controlado em forno tipo mufla (Spencer Scientific), sob atmosfera inerte, com fluxo de 100 mL min⁻¹ de argônio. A temperatura do forno foi elevada gradativamente a uma taxa de 10 °C min⁻¹ até atingir temperatura em torno de 673K (400°C), 773K (500°C) e 873K (600°C), sendo mantida nessa temperatura por 3 horas. Após a ativação, o carvão ativado foi lavado com água destilada até pH neutro, para remoção de resíduos de H₃PO₄ e desobstrução dos poros formados.

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

O ensaio de adsorção foi realizado com base na metodologia proposta por Bianchi (2008). Para obtenção das isotermas de adsorção foram realizados ensaios em batelada usando soluções de azul de metileno (AM). Foi adicionado 0,03 g de material adsorvente em um béquer de 100 mL juntamente com o 30 mL de adsorbato em várias concentrações (10, 25, 50, 100, 250 e 500 mgL⁻¹). A suspensão permaneceu sob agitação por 24 horas à temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C). Posteriormente o material foi centrifugado e o sobrenadante foi analisado em um UV-visível (Spectrum, SP-2000) a 645 nm. O mesmo procedimento foi realizado com o carvão ativado comercial (Cromoline) para fins de comparação.

Calculou-se a quantidade de azul de metileno adsorvido por unidade de massa do adsorvente (Q_{eq} em mg.g⁻¹) e os dados foram analisados quanto à adequação ao modelo de Langmuir representado pelas Equações 5 e 6.

$$Q_{eq} = \frac{K_L \times C_{eq} \times b}{1 + K_L \times C_{eq}} \quad \text{equação (5)}$$

Cuja linearização resulta em:

$$\frac{C_{eq}}{Q_{eq}} = \frac{1}{K_L \times b} + \frac{C_{eq}}{b} \quad \text{equação (6)}$$

Onde C_{eq} (mg L⁻¹) é a concentração de AM no equilíbrio; b (mg g⁻¹) é a capacidade de adsorção máxima e K_L (L mol⁻¹) é uma constante relacionada à energia de adsorção, ambos (b e K_L) podem ser determinados através do coeficiente angular e linear respectivamente da reta C_{eq}/Q_{eq} versus C_{eq}.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE IMEDIATA

Os resultados encontrados para a análise imediata da casca de pinhão manso são apresentados na Tabela 1. De acordo com Tongpoothorn et al. (2011) e Vale et al. (2011), são observadas algumas características que devem ser levadas em consideração na escolha do material precursor para a produção de carvão ativado.

Tabela 1: Resultado da Análise imediata da casca de pinhão manso.

BIOMASSA	TEOR DE UMIDADE (%)	TEOR DE CINZAS (%)	TEOR DE VOLÁTEIS (%)	TEOR DE CARBONO FIXO (%)	RENDIMENTO DE CARVÃO ATIVADO (%)
PINHÃO MANSO	13,22	5,78	85,77	8,45	19,52

A casca de pinhão manso apresentou teor de cinzas inferior a 7 % e teor de carbono fixo igual a 8,45 %, esse é um resultado considerado satisfatório, pois segundo Couto (2009), alto teor de carbono fixo e baixo teor de cinzas, são de suma importância. Para o autor, teores de cinzas, acima de 7% são considerados elevados e prejudicam o processo de adsorção, adsorvendo preferencialmente água, devido seu caráter hidrofílico. Além disso, estão relacionados com a presença de constituintes inorgânicos (cálcio, fósforo, magnésio, ferro,

enxofre, entre outros) que não participam da produção de energia, tornando-o um resíduo da reação de combustão. Para Vale et al. (2011), altos índices de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando maior tempo de residência nos aparelhos de queima.

Em relação à umidade a casca de pinhão manso apresentou teor de umidade igual a 13,22 %, mostrando um valor dentro do esperado. Pois, Farinhaque (1981) relata que o teor de umidade não deve estar acima de 25%, já que ocasiona uma redução no calor de combustão, na temperatura da câmara e na temperatura dos gases de escape. Assim materiais que apresentam menor teor de umidade são os mais indicados, em razão de requerer menos energia na combustão, reduzindo o custo do processo. A casca de pinhão manso apresentou um teor de voláteis igual a 85,77 %. O teor de voláteis refere-se a uma parte do carbono que é eliminado junto com os gases no processo de queima do carvão (MEIRA, 2002). Alto teor de voláteis indica geralmente valores baixos de área superficial específica (GONTIJO, 1996).

Resultados semelhantes foram obtidos nas análises imediatas da casca de pinhão manso encontrado por Vale et al. (2011) apresentam umidade de aproximadamente 18,9%, teor de cinzas de 14,43%, teor de voláteis de 72,6% e teor de carbono fixo de 13,0%.

O rendimento do processo de produção de carvão ativado a partir da casca de pinhão manso foi de 19,52 %. Este resultado está de acordo com rendimentos encontrados por Pereira (2012), para outros materiais precursores como o caroço de seriguela que teve rendimento de 20,56% e a casca de cacau com rendimento de 22,98 %, em ambos os casos foi utilizado o mesmo agente ativante (H_3PO_4).

ENSAIO DE ADSORÇÃO

Visando a aplicação do carvão ativado como material adsorvente em soluções aquosas, foram realizados testes de adsorção, utilizando o corante azul de metileno. As isotermas de Langmuir são apresentadas na Figura 1, que relaciona a quantidade adsorvida de azul de metileno por massa de carvão ativado (Q_{eq}) e a concentração final de azul de metileno (C_{eq}) nas soluções aquosas. Foi utilizado o carvão ativado comercial como referência.

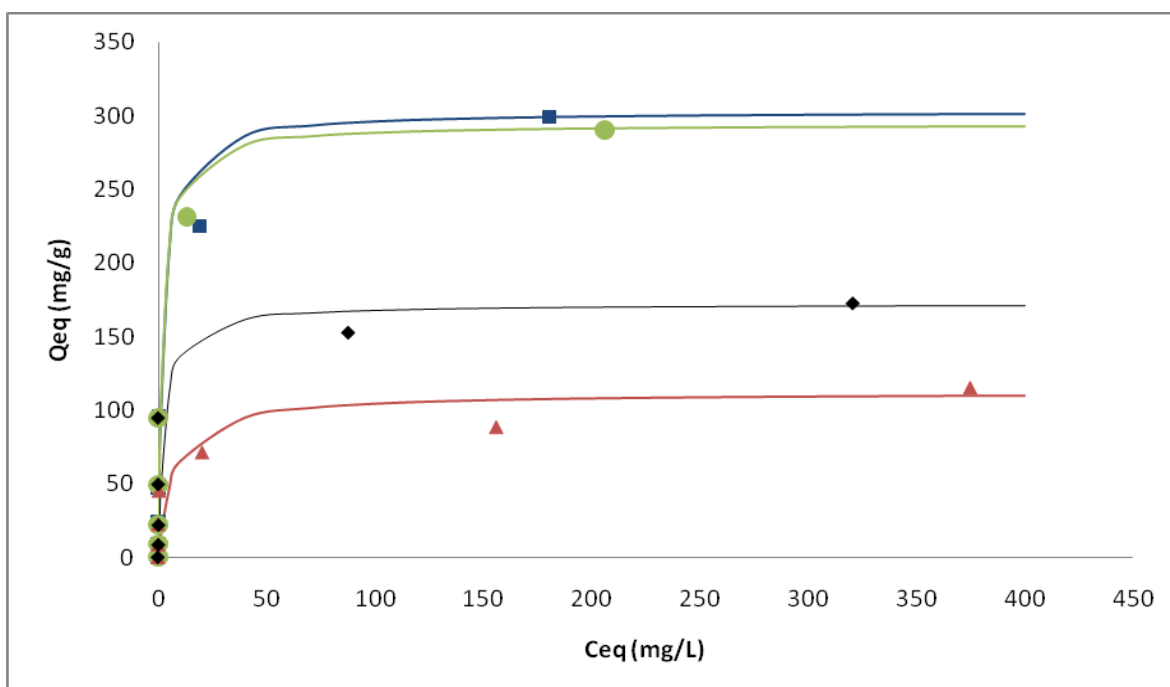


Figura 1: Isoterma de adsorção do azul de metileno para o carvão ativado produzido carvão-400 °C (■), carvão-500 °C (●), carvão-600 °C (▲) e o carvão ativado comercial (◆).

A partir da Figura 1, pode-se observar que para as soluções com baixas concentrações do corante, a quantidade de adsorbato não era suficiente para saturar a superfície do carvão ativado. Porém, à medida que as soluções se

tornavam mais concentradas, as curvas tenderam a valores de Q_{eq} constantes, indicando uma possível saturação da superfície do carvão ativado e o valor de maior capacidade de adsorção.

Os valores máximos de adsorção para o corante azul de metileno foram de aproximadamente, 299,16 mg/g, 291,25 mg/g, 110,27 mg/g, 171,03 mg/g, para os adsorventes, o carvão-400 °C, o carvão-500 °C, o carvão-600 °C e a carvão ativado comercial respectivamente. Observa-se que o carvão ativado que apresentou a maior capacidade de adsorção foi o produzido a temperatura de 400 °C.

A baixa capacidade de adsorção do carvão-600 °C e carvão comercial em soluções de azul de metileno podem estar relacionados à presença de grande quantidade de microporos nos carvões ativados produzidos, segundo Bestani et al., (2008), a remoção de corante é favorecida pela presença de mesoporos.

Outros resultados semelhantes foram obtidos por Pereira (2012) também para o azul de metileno e biomassas com propriedades parecidas com a casca de pinhão manso. O autor apresenta valores máximos de adsorção de azul de metileno para o carvão ativado produzido a partir do farelo do caroço de seriguela de 120,313 mg g⁻¹, e 135,192 mg g⁻¹, para o carvão ativado produzido a partir da casca de cacau.

CONCLUSÕES

A casca de pinhão manso apresentou-se como uma matéria-prima com potencial para produção de carvão ativado, devido apresentar baixos teores de umidade e de cinzas e altos teores de voláteis e de carbono fixo, podendo ser utilizado como alternativa para a produção de material adsorvente de baixo custo.

Os carvões ativados produzidos às temperaturas de ativação de 400 e 500 °C apresentaram uma capacidade de adsorção para o corante azul de metileno maior, quando comparado ao carvão comercial, sendo que a melhor condição de temperatura apresentada foi de 400 °C. A partir deste resultado pode-se constatar que esse carvão ativado produzido a partir da casca de pinhão manso mostrou potencial para ser utilizado como adsorvente de azul de metileno em soluções aquosas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ATKINS, P.W. Físico-Química. Volume 3. 6ª Edição. 1999. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
2. BANSAL, R.C.; GOYAL, M. Activated carbon adsorption. 2005. New York: Taylor & Francis.
3. BESTANI, B.; BENDERDOUCHE, N.; BENSTAALI, B.; BELHAKEM, M.; ADDOU, A. Methylene blue and iodine adsorption onto an activated desert plant. Bioresource Technology, Oxford, v. 99, n.17, p.841-844, Nov, 2008.
4. BIANCHI, M. L. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. Quim. Nova, v.31, n. 5, p.1048-10523, 2008.
5. BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Química da madeira. Piracicaba: ESALQ, Centro Acadêmico “Luiz de Queiroz”, 1985. 126 p.
6. CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – PPGEQ, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.
7. COUTO, G. M. Utilização de serragens de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados. 2009. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2009.
8. EL-SHEIKH, A. H. et al. Characterization of activated carbon prepared from a single cultivar of Jordanian Olive stones by chemical and physicochemical techniques. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, [S.l.], v. 71, p. 151-164, mar. 2004.
9. FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth), e aspectos gerais de combustão. Curitiba: FUPEF, 1981. 13 p. (Série técnica, 6).
10. GONTIJO, L. C. Preparação e caracterização de carvão ativado de endocarpo de coco da Bahia. 1996. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1996.
11. GUBITZ, G.M., MITTELBAACH, M., TRABI, M. Exploitation of tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. Bioresource Technology, [S.l.], v. 67, p. 73–82, 1999.

12. GUSMÃO, C. A. G. Desempenho do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) de segundo ano submetido a diferentes doses e relações NPK. 2010. 81p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais. 2010.
13. KHALILI, R. N. et al. Production of micro and mesoporous activated carbon from paper mill sludge: I. Effect of zinc chloride activation. *Carbon*, Oxford, v. 38, n. 14, p. 1905-1915, 2000.
14. MAKKAR, H.P.S., ADERIBIGBE, A.O., BECKER, K. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 62, p. 207–215, 1998.
15. MEIRA, A. M. Diagnóstico sócio-ambiental e tecnológico da produção de carvão vegetal no município de Pedra Bela, Estado de São Paulo. 2002. 105p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
16. MULLER, C. C. Avaliação da utilização de carvão ativado em pó na remoção de microcistina em água para abastecimento público. 2008. (Dissertação de Mestrado) - PPGE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
17. NOGUEIRA, M.; RENDEIRO, G. Combustão e gaseificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia. Ministério de Minas e Energia, Brasília. 1ª edição, 2008.
18. PEREIRA, R. G. Síntese de carvões ativados a partir de resíduos agroindustriais e sua aplicação na adsorção de proteínas do soro do leite. Dissertação de mestrado, 2012: 35-45.
19. RAMOS, P.H; GUERREIRO, M. C.; RESENDE, E. C.; GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (Pva) do café. *Quim. Nova*, v.32, n. 5, p.1139-1143, 2009.
20. RODRÍGUEZ-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M. Textural and chemical characterization of microporous carbons. *Advances in Colloid and Interface Science*, Seattle, v. 76/77, p. 271-294, 1998
21. TONGPOOTHORN, W.; SRIUTTHA M.; HOMCHAN P.; CHANTHAI, S.; RUANGVIRIYACHAI, C. Preparation of activated carbon derived from *Jatropha curcas* fruit shell by simple thermo-chemical activation and characterization of their physico-chemical properties. *Chemical Engineering Research and Design*, p. 335-340, 2011.
22. VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.
23. VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. 2012. 56f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2012., 1993/1995.