RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 13/12/2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

FÁBIO MONTEIRO LEITE DE SOUZA

PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CARVÃO BRANCO PARA USO DOMÉSTICO

Botucatu

2019

FÁBIO MONTEIRO LEITE DE SOUZA

PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CARVÃO BRANCO PARA USO DOMÉSTICO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Claudio Angeli Sansígolo

Botucatu

2019

S729p

Souza, Fabio Monteiro Leite de
Produção e qualidade do carvão branco para uso doméstico / Fabio Monteiro Leite de Souza. -- Botucatu, 2019
96 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Claudio Angeli Sansígolo

1. Material lignocelulósico. 2. Pirólise da madeira. 3. Ativação física. 4. Estrutura carbonácea. I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CARVÃO BRANCO PARA USO DOMÉSTICO"

AUTOR: FÁBIO MONTEIRO LEITE DE SOUZA
ORIENTADOR: CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO
Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO
Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof.ª Dr.ª CARLA DOS SANTOS RICCARDI
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Prof. Dr. DIEGO CORREA RAMOS
Depto de Engenharia Florestal / Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. FABIO MINORU YAMAJI
Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorocaba

Botucatu, 13 de dezembro de 2019.

Dedico este trabalho a toda minha

família em especial ao meu filho,

Conrado Leite de Souza.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida, pela capacidade e pelas bênçãos que são constantes.

A minha família, que sempre foi e sempre será fundamental em minha vida. Principalmente Tio João e a Tia Fátima por todo apoio e incentivo aos estudos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – por ter acreditado na concepção deste trabalho.

Ao curso de Pós-graduação em Ciência Florestal da Universidade Estadual Paulista.

Agradeço ao meu orientador Cláudio Angeli Sansígolo, por todos os ensinamentos, pela oportunidade de desenvolvimento e crescimento profissional.

Ao amigo Milton Sakurai que sempre foi o grande fomentador e apoiador do projeto carvão branco e ao amigo Taka pelo apoio nas atividades de produção e disponibilidade de informações técnicas.

Aos amigos Moacir Reis e Duílio Jurado pela amizade e parceria ao longo dos anos, com quem convivi na prática os desafios da produção de carvão vegetal e as trocas de vivências/experiências que contribuíram para o crescimento profissional.

A minha parceira Juliane Silva pela continua colaboração ao longo de todo o trabalho e principalmente pelo acompanhamento das leituras, conselhos e discussões a respeito dos diferentes assuntos.

A todos os professores, funcionários e alunos do Departamento de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu e Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva, pela disponibilidade em ajudar sempre, e pela grande amizade.

A todos os amigos que ofereceram seu apoio durante a realização deste projeto, e as pessoas que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a concretização deste trabalho e tiveram seus nomes aqui omitidos.

Meus sinceros agradecimentos!

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1. ESTRUTURAS DOS GRUPOS FUNCIONAIS DE OXIGÊNIO NA SUPERFÍCIE DO CARVÃO ATIVADO.....30

FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO DOS DIFERENTES TAMANHOS DE POROS PRESENTES NA ESTRUTURA DE CARVÕES ATIVADOS. 32

FIGURA 3. ESTRUTURA DA CELULOSE 33

FIGURA 4. FÓRMULA DO O-ACETIL-4-O-METIL GLUCORONICO EM "HARDWOOD" 34

FIGURA 5. ESTRUTURA DA LIGNINA 35

FIGURA 6. LOCALIZAÇÃO AMPLA DA AMÉRICA DO SUL, DESTACANDO A REGIÃO DE ESTUDO 42

FIGURA 7. PLANTA ESQUEMÁTICA DO FORNO PILOTO; (A) VISTA FRONTAL DO FORNO; (B) VISTA TRASEIRA DO FORNO; (C) VISTA EM CORTE DO FORNO; (D) PLANTA BAIXA DO FORNO. 44

FIGURA 8. VISTA GERAL DOS OITO FORNOS COM COBERTURA 45

FIGURA 9. LADO ESQUERDO (A) – FORNO ABASTECIDO COM LENHA ALINHADA NO SENTIDO VERTICAL; LADO DIREITO (B) – FORNO LIGADO EM PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO.....45

FIGURA 10- LADO ESQUERDO (A) – ABERTURA DA PORTA INFERIOR PARA IGNIÇÃO DE OXIGÊNIO DENTRO DO FORNO; LADO DIREITO (B) – USO DO SOPRADOR ADAPTADO ELEVANDO A TEMPERATURA DO FORNO..46

FIGURA 11. LADO ESQUERDO (A) – PONTO DE RETIRADA DO CARVÃO COM TEMPERATURA ≈ 1000ºC E COLORAÇÃO ALARANJADA; LADO DIREITO (B) – PROCEDIMENTO DE RETIRADA E RESFRIAMENTO DO CARVÃO COM O USO DE AREIA E CINZAS.....47

FIGURA 12. PROCESSO DE SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO CARVÃO BRANCO; (A) PENEIRA ROTATIVA PARA SEPARAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO; (B) CARVÃO BRANCO EM DIFERENTES GRANULOMETRIAS; (C) AMOSTRA APÓS SELEÇÃO DESTACANDO A ESTRUTURA POROSA 48

FIGURA 13. CARVÃO BRANCO SELECIONADO EM DIFERENTES GRANULOMETRIAS.....48

FIGURA 14. RESÍDUOS DA BIOMASSA UTILIZADOS PARA ANÁLISE QUÍMICA E DENSIDADE BÁSICA; (A) AMOSTRAS DA MADEIRA CLASSIFICADA NA FRAÇÃO 40/60 MESH PARA ANÁLISES QUÍMICAS; (B) AMOSTRAS DE MADEIRA SUBMETIDAS À ANÁLISE DE DENSIDADE BÁSICA. 50

FIGURA 15. PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA ANÁLISES DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS; (A) AMOSTRAS DE CARVÃO MOÍDAS SEM CLASSIFICAÇÃO; (B) AMOSTRAS CLASSIFICADAS PELA PENEIRA; (C) PROCEDIMENTO PADRÃO PARA ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO COM USO DA MUFLA.....51

FIGURA 16. AMOSTRA DAS CINZAS DO CARVÃO BRANCO SELECIONADAS PARA ANÁLISE; (A) IMAGEM DO CARVÃO EM FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA E A CINZA OBTIDA DA AMOSTRA; (B) CARACTERÍSTICAS DAS CINZAS OBTIDAS ENTRE AS ESPÉCIES ANALISADAS. 52

FIGURA 17. TESTE COMERCIAL DE CHISPAS DO CARVÃO BRANCO. LADO ESQUERDO (A) INÍCIO DO PROCESSO DE QUEIMA; LADO DIREITO (B) CARVÃO ACESO EM ETAPA DE DEGRADAÇÃO 54

FIGURA 18. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DAS AMOSTRAS (TG/DTG) 63

FIGURA 19. ISOTERMA DE ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE N_2 PARA AS ESPÉCIES ANALISADAS 77

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1. VALORES DA ÁREA DE SUPERFÍCIE (M^{-2}/G^{-1}) PARA CARBONOS FISICAMENTE ATIVADOS, OBTIDOS A PARTIR DE PRECURSORES LIGNOCELULOSICOS 31

TABELA 2. TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO AR E TEMPERATURA MÁXIMA DOS FORNOS 47

TABELA 3. DENSIDADE BÁSICA E ANÁLISE DOS COMPONENTES QUÍMICOS DA MADEIRA 56

TABELA 4 RESULTADOS DOS RENDIMENTOS GRAVIMÉTRICOS E EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA DO PROCESSO ... 59

TABELA 5. DENSIDADE RELATIVA APARENTE, ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA E PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO BRANCO 65

TABELA 6. ANÁLISE ELEMENTAR DO CARVÃO BRANCO; RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO; CARBONO/HIDROGÊNIO E PODER CALORÍFICO SUPERIOR 68

TABELA 7. ANÁLISE DOS MACROELEMENTOS DAS CINZAS DO CARVÃO BRANCO 70

TABELA 8. ANÁLISE DOS MICROELEMENTOS DAS CINZAS DO CARVÃO BRANCO 71

TABELA 9. PROPRIEDADES ENERGÉTICAS, RENDIMENTO EM CARBONO FIXO E INCIDÊNCIA DE CHISPAS 72

TABELA 10. ÁREA SUPERFICIAL BET, VOLUME MICROPOROSO E DIAMETRO MEDIO DOS POROS 75

RESUMO

O carvão branco caracteriza-se por ser um produto sólido carbonoso de elevada densidade energética, elevado teor de carbono fixo e ampla área superficial específica, sendo um material de potencial interesse no mercado mundial devido suas propriedades energéticas e capacidade de adsorver compostos da fase líquida e gasosa. Apesar de suas diversas vantagens, nota-se, todavia, um mercado incipiente de informações técnicas relacionadas ao método de produção e qualidade do produto para o uso doméstico. Desta forma, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade do carvão branco de diferentes espécies arbóreas oriundas de manejo florestal no Bioma Chaco. Para desenvolvimento do projeto foram construídos fornos de alvenaria com capacidade de enfornamento de 5,5 st, visando o tratamento térmico da madeira por meio do processo da pirólise, e posterior ativação física do carvão em temperaturas elevadas (~1000 °C). No total, foram realizadas três carbonizações individuais por espécie na qual foram determinados os rendimentos do processo e avaliadas as propriedades químicas, densidade aparente, propriedades energéticas e área superficial específica do carvão branco. O processo de produção possibilitou rendimento gravimétrico médio de 28,17% e rendimento em carbono fixo de 25,08%. O carvão branco apresentou valores elevados de densidade aparente (0,440 – 0,762 $g.cm^{-3}$) e densidade energética (3298 – 5931 $Kcal/m^{-3}$) e demonstrou propriedades químicas em conformidade com as normas europeia, asiática e brasileira. A ativação física na qual foi submetida as amostras removeu parte dos materiais voláteis e possibilitou uma composição química elementar e área superficial específica equivalente ao carvão ativado. As espécies que apresentaram as melhores propriedades energéticas para o uso doméstico foram *B. sarmientoi, A. quebracho-blanco* e *P. ruscifolia.* Em relação ao uso do carvão branco como possível produto adsorvente, as maiores áreas superficiais específica e carbono elementar foram constatadas para *B. sarmientoi*, *S. balansae* e *E. saligna*.

Palavras-chave: Material lignocelulósico. Pirólise da madeira. Ativação física. Estrutura carbonácea.

ABSTRACT

White charcoal is characterized by being a carbonaceous solid product with high energy density, high fixed carbon content and a large specific surface area, being a material of potential interest in the world market due to its energetic properties and ability to adsorb liquid phase compounds and gaseous. Despite its various advantages, there is, however, an incipient market of technical information related to the production method and product quality for domestic use. Thus, this research aimed to assess the quality of white charcoal from different tree species obtained from forest management in the Chaco Biome. For the development of the project, masonry ovens with a capacity of 5,5 st were built, aiming at the thermal treatment of the wood through the pyrolysis process, and later physical activation of the coal at high temperatures (~1000 ˚C). In total, three individual carbonizations were carried out per species in which the process yields were determined and the chemical properties, bulk density, energy properties and specific surface area of the white charcoal were evaluated. The production process enabled an average gravimetric yield of 28.17% and a fixed carbon yield of 25.08%. White charcoal showed high values of apparent density (0.440 - 0.762 $g.cm^{-3}$) and energy density (3298 - 5931 $Kcal/m^{-3}$) and demonstrated chemical properties in accordance with European, Asian, and Brazilian standards. The physical activation in which the samples were submitted removed part of the volatile materials and allowed elementary chemical composition and specific surface area equivalent to the activated carbon. The species that showed the best energetic properties for domestic use were *B. sarmientoi*, *A. quebracho-blanco*, and *P. ruscifolia*. Regarding the use of white charcoal as a possible adsorbent product, the largest specific surface areas and elemental carbon were found for *B. sarmientoi, S. balansae*, and *E. saligna.*

Keywords: Lignocellulosic material. Wood pyrolysis. Physical activation. Carbonaceous structure.

SUMÁRIO

PÁGINA

1 INTRODUÇÃO 21
2 OBJETIVOS 23
2.1 Objetivo Geral 23
2.2 Objetivos Específicos 23
3 REVISÃO LITERATURA 24
3.1 História do carvão vegetal 24
3.2 Carvão branco, sua origem e importância 25
3.3 Carvão ativado e suas aplicações 27
3.4 A madeira como biomassa e sua composição fisico-quimica 33
3.5 Processos de produção do carvão vegetal 37
3.6 Ativação do carvão vegetal 38
3.7 Característica do Bioma Chaco 40
4 MATERIAL E METODOS 42
4.1 Localização da área de estudo e seleção da matéria prima 42
4.2 Modelo do forno utilizado 43
4.3 Procedimentos para produção do carvão branco 45
4.4 Seleção e classificação do carvão 48
4.5 Rendimentos gravimétricos e eficiência volumétrica 49
4.6 Análises das propriedades químicas e densidade básica das madeiras 49
4.7 Análise termogravimétrica (TG/DTG) 50
4.8 Análises químicas e densidade aparente do carvão 51
4.9 Análise elementar do carvão 51
4.10 Análise elementar das cinzas do carvão 52
4.11 Poder calorífico e propriedades energéticas 53
4.12 Área superficial BET 53

PÁGINA

4.13 Análise da incidência de chispa do carvão 53
4.14 Análises estatísticas 54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 55
5.1 Propriedades químicas e densidade básica da madeira 55
5.2 Rendimentos gravimétricos e eficiência volumétrica 58
5.3 Análise termogravimétrica (TG/DTG) 60
5.4 Propriedades químicas e densidade aparente do carvão 64
5.5 Propriedades energéticas do carvão 71
5.6 Área superficial específica do Carvão Branco 74
5.7 Isoterma de adsorção/dessorção do carvão branco 76
6 CONCLUSÃO 78
7 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHO FUTURO 79
REFERÊNCIAS 81

1 INTRODUÇÃO

O carvão branco, também conhecido como "*binchotan"*, é um tipo de carvão ativado de resistência mecânica, notoriamente utilizada na região oriental, especialmente no Japão, onde apresenta ampla variedade de aplicações. Caracteriza-se por ser um material sólido carbonoso, de elevada densidade energética, elevado teor de carbono fixo, ampla área superficial específica e outros materiais inorgânicos. Matéria oriunda de um processo de ativação física que se inicia com a desidratação e posterior carbonização da madeira por meio de tratamento térmico em temperaturas elevadas.

As diferentes características da matéria prima obtida no processo admitem ao material carbonáceo, potencialidades energéticas na forma de biocombustíveis, para usos industriais e domésticos (GUO et al., 2015; HO et al., 2014; GAURAV et al., 2017); eficiente e amplamente utilizado na clarificação, desodorização e purificação de líquidos e gases (CHIA et al., 2014; ÇEÇEN; AKTAS, 2011; BANSAL; GOYAL, 2005); absorvedor de ondas eletromagnéticas (MIKI et al. 2004; UCHIDA et al., 2004); e de uso na medicina em forma de fármacos para tratamento de intoxicações e antídotos (COONEY, 1995).

A estrutura característica do material permite adsorver componentes em fase líquida ou gasosa, devido sua ampla área de superfície específica e elevados teores de carbono elementar. A caracterização detalhada do carvão branco revela uma microestrutura porosa contendo mistura de carbonos amorfos na forma de anéis aromáticos condensados, combinados com grupos alifáticos (CHIA et al., 2014).

Apesar das diversas vantagens destacadas em relação ao carvão branco, nota-se, todavia, poucas informações disponíveis e informalidade do setor que ainda é muito incipiente devido às distorções de custos, preços e qualidade do produto em sua cadeia de valor. Em geral, o que é possível obter de informação na literatura, diz respeito à produção de carvão vegetal sem distinção quanto às características e tipos.

Segundo dados da FAO (2017), a produção global de carvão vegetal (cadeia ampla) teve um aumento de 19% nos últimos dez anos, atingindo 52 milhões de toneladas em 2015, sendo mais da metade (62,1%) produzida pela África, seguida pelas Américas (19,6%), Ásia (17%), Europa (1,2%) e Oceania (0,1%). Em relação aos países, o Brasil é o maior produtor mundial com 6,2 milhões de toneladas, 12%

da produção global. No Brasil, mais de 90% do carvão vegetal é usado no setor industrial, sendo que o consumo de 80% é pelas metalúrgicas (GIZ, 2015). Em outros países da América Latina, África e Ásia, o carvão é usado principalmente na indústria de alimentos, restaurantes e residências.

Como referência, nos últimos anos, especificamente para a atividade do carvão ativado que é outra possibilidade de uso do carvão branco, relata-se um crescimento, com uma taxa anual média de 1,9% (mesma faixa de crescimento quando comparada ao carvão vegetal) e projeções que apontam um total de 9,9 milhões de toneladas importadas em 2016, sendo Estados Unidos, Alemanha e China os principais países produtores e consumidores (WORLD-ACTIVATED CARBON, 2018).

A procura por material carbonáceo para o uso doméstico, independente da sua finalidade deverá continuar crescendo nas próximas décadas, impulsionado pelo crescimento e demanda populacional e pela diversidade de usos e segmentos, devido a qualidade de suas propriedades energéticas e propriedades adsorventes.

O notório potencial do carvão branco e as projeções futuras de demanda, já sinalizam para o avanço do mercado, que deve ser acompanhado pelo setor produtivo, o que fortalece a importância do desenvolvimento de novos métodos de produção, visando obter o melhor rendimento, maior eficiência operacional e diferentes qualidades de produto. O material carbonáceo pode ser derivado de muitas fontes a partir de compostos lignocelulosicos e obtido por diferentes processos. As matérias-primas utilizadas, o processo de carbonização e a ativação do carvão, são importantes parâmetros que determinam as propriedades físicas e químicas do material resultante.

Em geral, o intuito deste projeto foi avaliar a qualidade do carvão branco utilizando resíduos lenhosos de maior densidade, produzidos em forno industrial de carbonização, com o intuito de disponibilizar melhores informações sobre o rendimento de produção e qualidade do carvão branco na América do Sul.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do carvão branco de diferentes espécies arbóreas, produzido em um forno industrial de carbonização.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar o processo produtivo do carvão branco em forno industrial;
- Caracterizar as propriedades químicas e densidade básica dos materiais lenhosos precursores;
- Avaliar as propriedades químicas, densidade aparente e propriedades energéticas do carvão branco;
- Analisar a área superficial específica e diâmetro médio dos poros;
- Apresentar os métodos de qualificação e seleção do carvão branco para o uso doméstico;
- Difundir a atividade de produção e disponibilizar informações para comercialização.

6 CONCLUSÃO

A produção do carvão branco em forno industrial possibilitou rendimento gravimétrico médio de 28,17% e rendimento em carbono fixo de 25,08%.

O material carbonáceo apresentou valores elevados de densidade aparente (0440–0,762 g.cm³) e densidade de energia (3298–5931 Kcal/m³), possui propriedades químicas médias (TCF> 87%; TMV< 10 %; TCz< 3%) em conformidade com as normas europeia, alemã, brasileira e mercado japonês, além de propriedades energéticas adequadas para o uso doméstico.

A ativação física na qual foi submetida as amostras removeu grande parte dos materiais voláteis e possibilitou uma composição química elementar média (C> 89%; O< 10%; N< 0,6; H< 0,9 %), área superficial específica (460–102,8 m^{-2}/g) e estrutura microporosa (menor que 20 Å) equivalente ao carvão ativado, o que permite caracterizá-lo como produto adsorvente.

As espécies que não emitiram chispas durante a combustão e que demonstram os melhores resultados energéticos foram *B. sarmientoi*, *A. quebracho-blanco* e *P. ruscifolia* que não apresentou diferença significativa quando comparado ao *E. saligna.* Em relação ao uso do carvão branco como produto adsorvente, os melhores resultados foram constatados para *B. sarmientoi; S. balansae e E. saligna.*

Em geral, o carvão branco de melhor qualidade foi evidenciado na espécie *B. sarmientoi*. Já o *E. saligna* por mais que não tenha apresentado os melhores resultados, a espécie atendeu as especificações da norma e apresentou-se como importante fonte de matéria prima para produção do carvão branco, devido seu rápido crescimento e fácil manejo em comparação as espécies nativas.

REFERÊNCIAS

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimentos do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-8112**: Carvão vegetal – análise imediata, Rio de Janeiro, RJ, 1986. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941**: Madeira: Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-9165**: Carvao vegetal: determinacao da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade- método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985. 8 p.

AHMADPOUR, A.; FAZ, D. D. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. **Carbon**, Elmsford, v. 35, n. 12, p. 1723-1732, 1997.

AHMEDNA, M.; MARSHALL, W. E.; HUSSEINY, A. A.; RAO, R. M.; GOKTEPE, I. The use of nutshell carbons in drinking water filters for removal of trace metals**.** **Water Research,** London, v. 38, n. 4, p. 1062-1068, 2004.

ALEM, S.; DURAISAMY, J.; LEGESSE, E.; SEBOKAS, Y.; MITIKU, E.; Wood charcoal supply to addis ababa city and its effect on the environment. **Energy & Environment** · Vol. 21, No. 6, 2010

ALMEIDA, M.R. Recuperação de alcatrão em fornos de alvenaria. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC**. p177-180, 1982.

ANDRADE, A. M (1993) **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 105p.

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimentos do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

ATKINS, P. W.; PAULA, J. **Físico-Química**. 8ª Edição. Rio de Janeiro: **LTC**, v. 2, p 427. 2008.

BANSAL, R. C.; GOYAL, M. **Activated Carbon Adsorption**. New York: CRC Press, 2005.

BARRET, E. P.; JOYNER, L.G.; HALENDA, P.P. The determination of pore volume

and area distribuitions in porous substances. I. Computations from nitrogen isothermas. **Journal of the American Chemical Society**, 73: 373-379, 1951.

BASTOS FILHO, J.G. Seminário: **Processos de produção de carvão vegetal com aplicação na indústria do aço**. Sistemas JG de formação de unidades pequenas, médias e grandes de produção de carvão vegetal de qualidade metalúrgica. 2007.

BATAUS, Y. S. de L.; PASTORE JUNIOR, F.; OKINO, E. Y. A.; PASTORE, T. C. M. **Carbonização integral de frutos de palmáceas**. Brasília, DF: IBAMA, LPF, Série Técnica 2. 15 p. 1989.

BEGUIN, F.; FRACKOWIAK, E. **Carbons for electrochemical energy storage and conversion systems**. New York: CRC Press, 2010.

BLANKENHORN, P. R.; JENKINS, G. M.; KLINE, D. E. Dynamic mechanical properties and microstructure of some carbonized hardwoods. **Wood and Fiber**, Lawrence, v. 4, n. 3, p. 212-224, 1972.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de Eucalyptus. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science**: an Introduction. New York: Blackwell Publishing, 2003.

BRADLEY, R. H.; SUTHERLAND, I.; SHENG, E. Carbon surface: area porosity, chemistry and energy. **J. Colloid Interface Sci.** 179 (2), 561. 1996.

BRAHAN, W. K. **Combustibilidad de la madera**: la experiência com espécies colombianas. 1. Bogotá: Fondo de Publicaciones. 50p, 2002.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência. 131 p, 2010.

BRITO, J. O. **Reflexos sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico**. Piracicaba: IPEF, (Circular Técnico, 181). 1993.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: i. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**. n.14, p.9-20, 1977

BYRNE, C.E.; NAGLE, D. C. Carbonized wood monoliths – characterization. **Carbon,** Elmsford, 35. p. 267–273, 1997.

CAMPOS, P. R. F. **Ativação de carvão em reator de leito fluidizado**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, p. 33, 1996.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista**

Árvore, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CARRILO PARRA, A.; FOROUGHBAKHCH-POURNAVAB, R.; BUSTAMANTE-GARCIA, V. Calidad del carbono de Prosopis laevigata (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M.C. Johnst. y Ebenopsis ébano (Berland.) Barneby & J.W. Grimes elaborado em forno tipo fosa. **Rev. Mex. Cienc. For**. Vol. 4. N.17.2013.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal.** 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011

ÇEÇEN, F.; AKTAS, O. Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment. Wiley-VCH **Verlag GmbH & Co**. KGaA, Weinheim, 11:50:12. 2011.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Modernização da produção de carvão vegetal:** subsídios para revisão do Plano Siderurgia – Brasília, 2015.

CHIAA, C.H.; JOSEPHA, S.D.; RAWAL B, A.; LINSER B, R.; HOOK B, J.M. Munroea- Microstructural characterization of white charcoal. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 109**. p. 215–221, 2014.

CLAUDINO, A.; MINOZZO, A. P. **Projeto de uma Indústria de Carvão Ativado**. Trabalho Referente à Disciplina de Projetos, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 6-7, Toledo, 2000.

COONEY, D. O. **Activated Charcoal in Medical Applications**. Dekker, New York, 1995.

COUTO, G. M.; DESSIMONI, A. L. A.; BIANCHI, M. L.; PERÍGOLO, D. M.; TRUGILHO, P. F. Use of sawdust *Eucalyptus* sp in the preparation of activated carbons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 69-77, jan./fev. 2012.

COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A. LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSIO, T. P. Quality of charcoal from *Corymbia* and *Eucalyptus* produced at different final carbonization temperatures. **Scientia Forestalis**, volume 43, n. 108, p.817-831, 2015.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, J. A. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, jan./mar. 2014.

COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; FREITAS, A. J.; LEAL, C. S.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 6, p. 456-461, 2017.

DANISH, M.; TANWEER, A. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 87, Pages 1-2. 2018

DEMIRBAS, A.; DEMIRBAS, H. A. Estimating the calorific values of lignocellulosic fuels. **Journal energy, exploration & exploitation**. V. 20, n. 1, p. 105- 111, 2004.

DERBYSHIRE, F.; JAGTOYEN, M.; THWAITES, M. **Porosity in carbons**. London: Eduar Arnold; 1995.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; SOARES, V. W.; COSTA JUNIOR, D. S.; FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S. Energetic potential of seven *Eucalyptus* genetic materials planted in Rio de Janeiro State. **Scientia Forestalis**, volume 43, n. 108 p.833-843, 2015.

DIN. 1989. DIN 51749. Prüfung fester Brennstoffe-Grill- Holzkohle und Grill Holzkohle Briketts:Anforderungen und Prüfverfahren. Deutsches Institut für Normung. **Taschenbuch** 31. Berlin,Beuth Verlag. Germany. 4 p.

DO, D. D. Adsorption analysis: equilibria and Kinetics**. Imperial College Press**. London. 1998.

EN. 2005. EN 1860-2. **Appliances, solid fuels and firelighters for barbecueing** - Part 2: Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes- Requirements and test methods. The British Standards Institution European Norm. London, UK. 27 p.

FAO. The charcoal transition: greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods**. FAO publication**, 2017.

FANG, M. X.; SHEN, D. K.; LI, Y. X.; YU, C. J.; LUO, Z. Y.; CEN, K. F. Kinetic study on pyrolysis and combustion of wood under different oxygen concentrations by using TG-FTIR analysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.77, n.1, p.22-27, 2006.

FENGEL, D. On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200 ◦C – part 2. **Holz Roh-Werkst 24.** p. 98–109. 1966.

FERNANDES, E. R. K.; MARANGONI, C.; SOUZA, O.; SELLIN, N. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. **Energy Conversion and Management**, v.75, p.603-608, 2013.

FERRARI, P. E.; REZENDE, M. C. Carbono polimérico: processamento e aplicação. **Polímeros,** São Carlos, v. 8, n. 4, dez. 1998.

FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. A short review of activated carbon assisted electrosorption process: an overview, current stage and future prospects. **J. Hazard**. Mater. 170, 352. 2009.

GANI, A.; NARUSE, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable Energy**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 649-661, 2007.

GARCIA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**, v. 103, n. 1, p. 249-258, Jan. 2012.

GAURAV, N.; SIVASANKARI, S.; KIRAN, G. S.; NINAWE, A.; SELVIN, J. Utilization of bioresources for sustainable biofuels: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 73, June 2017, Pages 205-214 Volume 73, Pages 205-214. 2017.

GERT STRAND. **Activated carbon for purification of alcohol** – and some useful distillation tips. 2001.

GIMÉNEZ, A. M.; HERNÁNDEZ, P. **Biodiversidad em ambientes naturales del chaco argentino**: caracterización y aportes para su conservación. Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Universidad Nacional del Nordeste. 120 p. 2008.

GINZBURGL, R.; ADÁMOLILL, J.; Ecorregión Chaco Húmedo. In: BROWN, A.; ORTIZ, U. M.; CORCUERA, M. A. J. **La Situación Ambiental Argentina.** Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina, 2006. 587 p. Disponível em: http://www.oab.org.ar/capitulos. Acesso em: 20 nov. 2019.

GIZ. Towards sustainable modern wood energy development: stocktaking paper on successful initiatives in developing countries in the field of wood energy development. **Eschborn, Germany, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)**. 2015.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Qualidade da madeira. In: BOREM, A. (Ed.) **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.25-54. 2007.

GONZÁLEZ-GARCÍA, P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. **Renew. Sustain. Energy Rev**. 82, 1393–414. 2018.

GREGG, S. J.; SING K. S. W. **Adsorption, surface area and porosity**. Academic Press, London, 1982.

GUO, M.; SONG, W.; BUHAIN, J. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 42, February 2015, Pages 712-725.

GUPTA, T. **Carbon**: the black, the gray and the transparent. Springer Nature. La mesa, CA, Eua, 315 pg. 2018

HAYKIRI-ACMA, H.; YAMAN, S.; KUCUKBAYRAK, S. Gasification of biomass chars in steam–nitrogen mixture. **Energy Conversion Management**. 2005.

HERNÁNDEZ, M. A. Evaluación de Mesoporos y Caracterización de Arcillas del Estado de Puebla, México. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**.

México, v. 4, n. 19, p. 183-190, 2003.

HIETALA, S.; MAUNU, S. L.; SUNDHOLM, F.; JAMSA, S.; VIITANIEMI, P. Structure of thermally modified wood studied by liquid state NMR measurements. **Holzforschung**, 56, p. 522–528, 2002.

HIROKAZU, K. Estimation of cation and anion leaching characteristics and dissolved BOD-adsorption capacity of homemade charcoal produced by community participation, Bull**. Minamikyushu Univ. Nat. Sci**. v. 36, p. 7–20, 2006.

HO, D. P.; NGO, H. H.; GUO, W. A mini review on renewable sources for biofuel, **Bioresource Technology**. Volume 169, Pages 742-749. 2014.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis X Eucalyptus urophylla*. **Ciênc. Florest**. vol.26 no.1 Santa Maria Jan./Mar. 2016.

HUANG, C.; HAN, L.; YANG, Z.; LIU, X. Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. **Waste Management**. Oxford, v. 29, n. 6, p. 1793- 1797, June 2009.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de construção e operação do forno rabo-quente**. IBAMA, DIREN, DEREF.Natal: 24 p. Projeto IBAMA/PNUD/BRA/93/033. Desenvolvimento Florestal para o Nordeste do Brasil. Programa Nacional de Florestas. 1999.

ICHIHARA, A; MIYOSHI, K. Suporte técnico para características de carvalhos carbonizados pelo método Kochi - resultados das propriedades físicas e teste de combustão. **Centro de Tecnologia Florestal da Província de Kochi**. Relatório de Pesquisa. 2008.

IKUO, A.; SATOSHI, I.; JUN, M.; TOMOKO, F. Deodorization performance of charcoal. **Sci. Ind**. v. 74, p. 106–111. 2000.

INAGAKI M.; TASCON J. Pore formation and control in carbon materials. In: Bandosz T, editor. Act. **Carbon surfaces environ**. Remediat. Philadelphia, PA: Elsevier Ltd. p.49-105. 2006.

IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 11, Issue 9, Pages 1966-2005. 2007.

ISMADJI, S.; SUDARYANTO, Y.; HARTONO, S.B.; SETIAWAN, L. E. K.,; AYUCITRA, A. “Activated carbon form char obtained from vacuum pyrolysis of teak sawdust: pore structure development and characterization”, **Bioresource Technology** 96, 1364-1369. 2005.

JANKOWSKA, H.; SWIATKOWSKI, A.; CHOMA, J. **Active Carbon**. Ellis Horwood Limited.1991.

JIBRIL, B.; HOUACHE O.; AL-MAAMARI R.; AL-RASHIDI B. Effects of H3PO4 and KOH in carbonization of lignocellulosic material. **J Anal Appl Pyrol** 83 (2):151–6. 2008.

KAI, X.; YANG, Y.; HUANG, Y.; SUN, Y. H. E. Y.; LI, R. The effect of biomass components on the co-combustion characteristics of biomass with coal. In: Digital **Manufacturing and Automation**, p.1274-1278, 2011.

KANG, Y. H.; SHIUE, A.; HU, S. C.; HAUNG C.-Y.; CHEN H. T. Using phosphoric acid impregnated activated carbon to improve the efficiency of chemical filters for the removal of Air-borne Molecular Contaminants (AMCS) in the Make Up Air Unit (MAU) of a clean room. **Building and Environ**. 45(4), 929 p. 2010.

KAZUE, N. **Natural soap containing bincho-zumi powder**. Japan patent 10-298595 A. 1998.

KIM, B. R.; LEE, Y. D. Analysis of Functional Characteristics of the Commercial Wood charcoal in Korea. **Korean Society of Wood Science and Engineering**. Volume 38, n. 6, p. 480-489. 2010.

KIM, H.S.; KIM, S.; KIM, H. J.; YANG, H. S. Thermal properties of bio-flour-filled polyolefin composites with different compatibilizing agent type and content. **Thermochimica Acta**. v. 451, p.181–188, 2006.

KRULL, E. BALDOCK, J. SKJEMSTAT, J. SMERNIK, R. Characteristic of biochar: organochemical properties, in: J. Lehmann, S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management**. Science and Technology**. Earthscan, London. p. 53–66. 2009.

KUMAR, R.; PANDEY, K. K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid. **Journal of Forestry Research**, Tokyo, v. 21, n. 4, p. 514-516, 2010.

KURAUCHI, M. H. N. **Uma abordagem de ensaio de resistência mecânica de carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2014.

KWON, G; JANG. J; KWON, S. M; HWANG, W. J; Charcoal Properties and Temperature Change of a Kiln's Inner and Outer Walls in Carbonization Process Using an Improved Kiln. **Journal of the Korean Wood Science and Technology** 39(3):230-237. 2011.

KWON, G. J; KIM, A. R; LEE, H. S; LEE, S. H; HIDAYAT, W; FEBRIANTO, F; KIM, N. H. Characteristics of White Charcoal Produced from the Charcoal Kiln for Thermotherapy. **Journal of the Korean Wood Science and Technology**. 46 (5): 527-540. 2018.

LATA H.; GARG V. K.; GUPTA R. K. Adsorptive removal of basic dye by chemically activated Parthenium biomass: equilibrium and kinetic modeling. **Desalination**. 219:250–61. 2008.

LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SIQUEIRA, H. F. Composição química elementar da madeira e do carvão vegetal de *Coffea arabica* para uso bioenergético. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 537-547, 2015.

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia., **Biomass and Bioenergy** Oxford, v. 27, n. 3, p. 223-232, Sept. 2004.

LEPAGE, E. S. Química da madeira. In: LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, cap. 4, p. 69-98. 1986.

LEWIN M.; GOLDSTEIN I. S. **Wood structure and composition**. New York: M. Dekker; 488 p. 1991.

LIMA, E. A. de; SILVA, H. D da; TUSSOLINI, E. L. **Potencial do *Eucalyptus benthamii* para produção de carvão em fornos convencionais**. Colombo: Embrapa Florestas, 4p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 305). 2012.

LI, L.; ZHAO, N.; FU, X.; SHAO, M.; QIN, S. Thermogravimetric and kinetic analysis of *Spirulina* wastes under nitrogen and air atmospheres. **Bioresource Technology**, v.140, p.152-157, 2013.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; MAGALHAES, W. L. E.; LAVORANTI, O. J. Caracterização individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa**, Colombo, n. 35, 2007. 26 p.

LIU, W.; VIDIC, R. D.; BROWN, T. D. Optimization of Sulfur impregnated protocol for fixed bed application of activated carbon based Sorbentsfor gas phase mercury removal. **Environ. Sci. Technol**. 32, 531. 1998.

LÓPEZ-GONZÁLEZ, D.; FERNANDEZ-LOPEZ, M.; VALVERDE, J. L.; SANCHES-SILVA, L. Thermogravimetric-mass spectrometric analysis on combustion of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v.143, p.562-574, 2013.

MACEDO, J. S.; OTUBO L.; FERREIRA O. P.; GIMENEZ I. D. F.; MAZALI I. O.; BARRETO, L. S. Biomorphic activated porous carbons with complex microstructures from lignocellulosic residues. **Micro Meso Mater**, 107 (3), pp. 276-285. 2008.

MAGDZIARZ, A.; WILK, M. Thermogravimetric study of biomass, sewage sludge and coal combustion. **Energy Conversion and Management**, v. 75, p. 425-430, 2013.

MANDU I. I.; BIN, G.; YING, Y.; YINGWEN, X.; ANDREW Z.; AHMED M.; PRATAP P.; YONG, S.; XINDE, C. A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous

heavy metal removal, **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 46:4, 406-433. 2016.

MARSH, H.; RODRIGUEZ-REINOSO, F. **Activated carbon**. London: Elsevier, 2006. 554 p.

MATHIESON, J. G.; ROGERS, H.; SOMERVILLE, M. A.; JAHANSHAHI, S. Reducing net CO2 emissions using charcoal as a blast furnace tuyere injectant, **ISIJ Int**. 52,1489–1496. 2012

MEDEIROS NETO, P.; N. OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; ALMEIDA, A. M. C.; PIMENTA, A. S.; CARNEIRO, A. C. O. Physicochemical and energetic characteristics of two species occurring in the brazilian semiarid. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 579-588, jul.-set., 2012

MEDEIROS P. N.; OLIVEIRA, L.; PAES J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas Espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal. In: CETEC. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, p. 77-89. 1982.

MIAO, H. Y.; CHEN, G.R.; CHEN, D. Y;. LUE, J.T.; YU, M.S. Hydrogen storage: a comparison of hydrogen uptake values in carbon nanotubes and modified charcoals, **EPJ Appl. Phys**. 52, p. 21-101. 2010.

MIKI, H.; KUKUCHI, T.; NAKAMURA, M. Development of electromagnetic wave absorber with white charcoal, **Trans. Mater. Res. Soc**. Jpn. 29 p. 2443–2446. 2004.

MIURA, I. Manufacture of charcoal in Japan with special reference to its properties, **Ind. Eng**. **Chem.** 23, p. 631–634. 1931.

MOON, C.; SUNG, Y.; AHN, S.; KIM, T.; CHOI, G.; KIM, D. Effect of blending ratio on combustion performance in blends of biomass and coals of different ranks. Experimental **Thermal and Fluid Science**, v.47, p.232-240, 2013.

MOORE, W. E.; EFFLAND, M. Chemical composition of fast-growth juvenile wood and slow-growth mature sycamore and cottonwood. **Tappi**, Atlanta, v. 57, n. 8, p. 96-8, 1974.

MOORE, G. R.; BLANKKENHORN, P. R.; BEALL, F. C.; KLINE, D. E. Some physical properties of birch carbonized in a nitrogen atmosphere. **Wood and Fiber**, Madison, v. 6, n. 3, p. 193-199, 1974.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

MUÑOZ-ROJAS, D.; MOYA, X. **Materials for sustainable energy applications**: conversion, storage, transmission and consumption. Pan Stanford, Singapore, 2016.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. **Imprensa Universitária.** Fortaleza. 256 p. 2014.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319 - 330, 2011.

NOBRE, J. R. C.; CASTRO, J. P.; BIANCHI, M. L.; BORGES, W. M. S.; TRUGILHO, P. F.; MOULIN, J. C.; NAPOL, A. Caracterização do carvão ativado produzido a partir de serragens de maçaranduba. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107 p.693-702, setembro de 2015

NORDIN, A. Chemical and elemental characteristics of biomass fuels. **Biomass and Bioenergy**. Oxford, v. 6, n. 5, p. 339-347, May 1994.

NORGATE, T.; HAQUE, N.; SOMERVILLE, M.; JAHANSHAHI, S. Biomass as a source of renewable carbon for iron and steelmaking. **ISIJ Int**. 52, p. 1472–1481. 2012.

NORIKANE, H.; NISHIKUBO, T.; GOKYU, S.; ITOH, K.; ITOH, M. RF magnetic shielding effects of a compound plate constructed from bincho-charcoal and ferrite plates, IEEE Trans. **Appl. Supercond**. 16, p. 1765–1768. 2006.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. Torrefacion of biomass for energy applications, from frundamentals to industrial scale. **Academic Press**, 254 pag. 2017.

OLIVEIRA, C. A.; CARNEIRO, A. C. O. C.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita*F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, L. F. F.; ANDRADE, F. W. C.; TRUGILHO, P. F.; PROTASIO, T. P.; GOULART, S. L. Qualidade do carvão vegetal comercializado no Sudeste Paraense para cocção de alimentos. **Rev. Cienc. Agrar**., v. 62, 2019.

OLIVEIRA, de J.B.; GOMES, P.A.; ALMEIDA, de M.R. 1982. Estudos preliminares de normatização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. **Carvão vegetal**. Belo Horizonte, CETEC, p. 7-38. (Série de Publicações Técnica, 006).

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Caracterização do processo de fabricação de carvão em fornos de alvenaria. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Carvão vegetal:** destilação, carvoejamento, propriedades, controle de qualidade. Belo Horizonte: CETEC, p. 63-102. 1982.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

OLIVEIRA, A. C. **Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal. Dissertação** (Mestrado em Ciencia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, p 74. 2012.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PELANDA, K. A.; POTULSKI, D. C.; SILVA, D. A.; FERRAZ, F. A. Avaliação das possíveis implicações do uso de diferentes biomassas florestais como biocombustível em geradores de vapor. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 6, n. 2, p. 112–121, 2015.

PETTERSEN R. C. Chemical composition of wood. In: Rowell R, editor. **The chemistry of solid wood.** Washington: American Chemical Society; p. 54-126. 1984.

PINHEIRO, P. C. da C.; SÈYE, O. Influência da temperatura de carbonização nas propriedades do carvão vegetal de Eucalyptus. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 53., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, p. 20-32. 1998.

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHO, T. J. Densidade energética de resíduos vegetais. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2, p. 113-123, 2005

PRADO, D. What is the Gran Chaco vegetation of South America? I. A review. Contribution to the study of flora and vegetation of the Chaco. **V. Candollea** 48: 145-172. 1993.

PRADO, D. E., GIBBS, P. E., POTT, A. e POTT, V. J. The chaco-transition in southern Mato-Grosso, Brazil. In: **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries** (P.A. Furley, J. Proctor & J. A. Ratter, eds.). Chapman & Hall, London, p. 451-470. 1992.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARAES JUNIOR, J. B.; LIMA JUNIOR, P. H.; SILVA, M. M. O. Avaliação tecnológica do carvão vegetal da

madeira de clones jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus uruphylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 801-816, dez. 2015.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F.; GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energéticodo carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n. 74, p.137-149, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 97, 2013.

PROTASIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JUNIOR, M. Relação entre o poder calorifico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 113-122, abr./jun.2011.

PROTÁSIO, T. P.; SANTANA, J. D. P.; GUIMARÃES NETO, R. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; TRUGILHO, P. F.; RIBEIRO, I. B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v. 31, n. 68, p. 295– 07, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; GUIMARAES JUNIOR, M.; MIRMEHDI, S.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; KNOVACK, K. M. Combustion of biomass and charcoal made from babassu nutshell. **Cerne,** vol. 23 no.1 Lavras Jan./Mar. 2017.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, 2012.

PUTUN A. E.; OZBAY N.; ONAL E. P. Fixed-bed pyrolysis of cotton stalk for liquid and solid products. **Fuel Process Technol**, 86, pp. 1207-1219. 2005.

RAAD, T. J.; PINHEIRO, P. C. C.; YOSHIDA, M. I. Equação geral de mecanismos cinéticos da carbonização do *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 93-106, 2006.

RAYMOND, C. A. Tree breeding issues for solid wood products. In: THE FUTURE OF EUCALYPTUS FOR WOOD PRODUCTS, 1., 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, p. 265-270. 2000.

REIS, A. A.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. Composição da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus urophylla em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 277-290, 2012.

RESENDE, M.E. **Análise comparativa das diferentes tecnologias de carbonização e recuperação de subprodutos**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 28 p. 2014.

RODRÍGUEZ-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M. Activated carbons from lignocellulosic materials by chemical and/or physical activation: an overview. **Carbon**, Elmsford, 30 (7), pg. 1111-1118. 1992.

ROUQUEROL, F.; ROUQUEROL, J.; SING, K. **Adsorption by powders & porous solids**. Academic Press, London. 1999.

ROUSSET, P.; FIGUEIREDO, C.; DE SOUZA M, QUIRINO, W. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. **Fuel Process Technol.** 92: 1890–97, 2011.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S; TSHABALALA, M. A. **Cell wall chemistry**. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Editado por Roger M. Rowell. Editora Taylos & Francis Group. New York, 2005.

RÓZ, A. L.; RICARDO, J. F. C.; NAKASHIMA, G. T.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. p. 810–814, 2015.

RUTHEVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption process**. John Wiley, New York, 1994

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Lavras, 2010.

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, v. 22, n. 2, p. 309-321, mar./abr. 2012

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. **Resolução n° 10** SAA, de 11 de julho de 2003. São Paulo. 2003.

SARTORI, A. L. B. The Brazilian chaco. **Glalia** 4 ed. pg. 11-18. 2012.

SAVOVA, D.; APAK, E.; EKINCI, E.; YARDIM, F.; PETROVA, N.; BUDINOVA, T. Biomass conversion to carbon adsorbents and gas **Biomass Bioenergy**, 21, pp. 133-142. 2001.

SCHMAL, M. Cinética e Reatores: aplicação na engenharia química. **Synergia.** Engenho de Dentro. 572 p. 2010.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, p. 178-183. 1991.

SLOCUM, D. H.; McGINNES JÚNIOR, E. A.; BEALL, F. C. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of oak and hickory woods. **Wood Science**, Madison, v. 11, n. 1, p. 42-47, 1978.

SOMERVILLE, M.; JAHANSHAHI, S. The effect of temperature and compression during pyrolysis on the density of charcoal made from Australian eucalypt wood. **Renewable Energy**, Kidlington, v. 80, n. 8, p. 471–478, 2015.

SOUZA, N. D.; AMODEI, J. B.; XAVIER, C. N.; DIAS JUNIOR, A. F.; CARVALHO, A. M. Estudo de Caso de uma Planta de Carbonização: Avaliação de Características e Qualidade do Carvão Vegetal Visando Uso Siderúrgico. **Floresta e Ambiente**; 23 (2): 270-277. 2016

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden., **Revista Árvore**. Viçosa, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SILVA, D. A.; ALMEIDA, V. C.; VIANA, L. C.; KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 561-568, 2014.

SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M. A. C.; PIMENTA, A. S.; DANTAS, M. K. L**.** Energy characteristics of charcoal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) and leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit)**.** **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 412-419, jan.- mar., 2018.

SILVA, M. do R. S. E; RIBEIRO, E. A. S.; BARBOSA, J. P.; ALVES JÚNIOR, F. T.; GUEDES, M. C.; PINHEIRO, P. G.; BUFALINO, L. Quality attributes of commercial charcoals produced in Amapá, a Brazilian state located in the Amazonia. **Environment, Development and Sustainability**, [S. l.], n. 1, p. 1-14, 2018.

SOARES, A. G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina**, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, p. 15-25, Campinas, 2001.

SJÖSTRÖM, E. 1993. **Wood chemistry**: fundamentals and applications. 2. ed., New York, Academic Press. 293p.

STAVROPOULOS, G. G.; ZABANIOTOU, A. A. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. **Micropor Mesopor Mate**. v. 82, p. 79–85. 2005.

STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; CHEMIN, M. S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus vimanalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p.55-59, 1988.

SUZUKI, M. **Fundamentals of adsorption**. Elsevier, Amsterdam. 1993.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Test methods. Atlanta: **TAPPI Press**. 573 p. 1999.

TIMUR, S.; KANTARLI, I. C.; ONENC, S.; YANIK, J. Characterization and application of activated carbon produced from oak cups pulp. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. Volume 89, Issue 1, Pages 129-136. 2010.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influencia da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, Curitiba. vol. 2, num. 1-2. 2001.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de Eucalyptus para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v.7, n.2, p.104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de Eucalyptus. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

TSAI W. T.; CHANG, C. Y.; LEE S. L. Preparation and characterization of activated carbons from corn cob. **Carbon**, Elmsford, 35, pp. 1198-1200. 1997.

UCHIDA, Y.; NAKANISHI, M.; FUJII, T.; TAKADA, J.; MUTO, A.; SAKATA, Y. Crystalline control of bincho charcoal by using catalytic graphitization and electromagnetic wave absorption characteristics of derived carbon. **Trans. Mater. Res. Soc**. Jpn. 29 p. 2511–2514. 2004.

VICENTE, E. D.; VICENTE, A.; EVTYUGINA, M.; CARVALHO, R.; TARELHO, L. A. C.; ODUBER, F. I.; ALVES, C. Particulate and gaseous emissions from charcoal combustion in barbecue grills. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 176, p. 296-306, 2018

VIEIRA, R. S. **Propriedades mecânicas da madeira de clones de Eucalyptus e do carvão vegetal produzido entre 350°C e 900°C**. 2009. 80 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa: SIF, (Boletim técnico, 1), p. 21. 1984.

ZAK, M. R.; CABIDO, M. Spatial patterns of the Chaco vegetation of central Argentina: Integration of remote sensing and phytosociology. **Applied Vegetation Science,** v. 5, p. 213-226, 2002.

ZHANG, T.; WALAWENDER, W. P.; FAN, L.T.; FAN, M.; DAUGAARD, D.; BROWN R. C. Preparation of activated carbon from forest and agricultural residues through CO2 activation. **Chem Eng J.** 105, p. 53-59. 2004.

ZHOU H.F.; HAYNES R.J. Sorption of heavy metals by inorganic and organic components of solid wastes: significance to use of wastes as low-cost adsorbents and immobilizing agents. **Cri Rev Environ Sci Technol**. 40:909–77. 2010.

WANG, Z. M.; KANOH, H.; KANEKO, K.; LU, G. Q.; DO, D. Structural and surface property changes of macadamia nut-shell char upon activation and high temperature treatment. **Carbon**. vol.40, p.1231- 1239. 2002.

WEI, Y.; WU, L.; WANG, C. Analysis of the factors affecting the hydrophobicity of composite insulator in atmosphere condition. **High Volt.** Eng. 32, p. 31–34. 2006.

WON, J. M.; SONG, J. Y. Development of inner packaging material for maintaining the freshness of fruits and vegetables. **J. Korea Tech. Assoc. Pulp Pap**. Ind. 39, p. 64–68. 2007.

WORLD- ACTIVATED CARBON - Market Analysis, Forecast, Size, Trends and Insights, 2015 - 2018. Index box, Marketing and Consulting. November 2018.
YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v.86, n.12-13, p.1781-1788, 2007.