

GASEIFICAÇÃO DA CASCA DO JATOBÁ-DO-CERRADO: CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÃO E ENSAIOS LABORATORIAIS

Nádia Alves Viana
MunIQUE GonçALVES Guimarães
Augusto César de Mendonça Brasil
Ailton Teixeira do Vale
Julio Lemos de Macedo
Grace Ferreira Ghesti

Universidade de Brasília

RESUMO

A casca do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa Mart.*) é um resíduo florestal que possui um grande potencial para a geração de energia por meio do processo da gaseificação, pois esse material apresenta caráter heterogêneo e, além disso, não possui um fim determinado. Este trabalho teve como objetivo a caracterização química e física das cascas da árvore do jatobá-do-cerrado, e, além disso, a análise e entendimento do processo de gaseificação real, por meio da simulação computacional. A casca do jatobá apresentou resultados satisfatórios como combustível em gaseificador contracorrente (*Updraft*) visando à produção de gás de síntese para a geração de energia. Neste estudo esta biomassa apresentou os seguintes resultados por meio da análise imediata: teor de umidade de 11,56%, teor de voláteis 75,36%, teor de cinzas 1,08% e teor de carbono fixo 23,56%. Os valores de poderes caloríficos foram respectivamente: PCS de 4.876 kcal/kg, PCI de 4.599,52 kcal/kg e PCU de 3.998,45 kcal/kg. Os valores encontrados para as concentrações de carbono, hidrogênio, nitrogênio na biomassa *in natura* a partir da análise de CHN/EDX/FRX, e a concentração de oxigênio obtida por diferença, foram as seguintes: C - 47,88%, H - 5,12%, N - 0,53% e O - 45,37%. A análise lignocelulósica que é uma técnica de relevante importância na caracterização química da biomassa em questão apresentou os seguintes resultados: extrativos -13,25%, holocelulose - 60,69% e lignina - 38,07%. Por meio desses resultados obtidos, da comparação com os dados de outras biomassas citados na literatura, da comparação dos dados da gaseificação laboratorial com a simulação com Comgas e dos resultados obtidos por meio da metodologia de Tiangco *et.al.*, (1996), pode-se concluir que a casca da árvore do jatobá é uma biomassa promissora como matéria-prima para geração de energia por meio de processos termoquímicos, como a gaseificação.

Palavras chaves: Gaseificação, Simulação ComGás, Jatobá, Bioenergia.

ABSTRACT

The bark of Jatoba-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa Mart.*) is a forest residue that has great potential for generating energy through the gasification process, because this material has heterogeneous composition and, moreover, does not have a specific purpose. This study aimed the characterization of chemical and physical properties of the bark of the jatobá-do-cerrado tree, in addition, the analysis of the laboratory gasification process by computer simulation. The bark of jatobá achieved satisfactory results as fuel countercurrent gasifier (*Updraft*) aiming at the production of synthesis gas for power generation. In this study, this biomass showed the following results through immediate analysis: moisture content of 11,56%, 75,36% volatile content, ash content 1,08% and fixed carbon 23,56%. The values of calorific values were, as follows: PCS 4.876 kcal / kg, PCI 4.599.52 kcal/kg and PCU of 3.998,45 kcal/kg. The values found for the concentrations of carbon, hydrogen, nitrogen biomass in natura from the CHN/EDX/FRX analysis, were measured as follows: C - 47,88%, H - 5,12% N - 0,53% e O - 45,37%. The lignocellulosic analysis is a technique of great importance in the chemical characterization of biomass in question included the following results: extractive -13,25%, holocelulose - 60,69% and lignina - 38,07%. Through these results, comparing with data from other biomass mentioned in the literature, comparing the laboratory gasification data with the simulation with Comgás software and the results obtained through Tiangco methodology *et.al.*, (1996), it is possible to conclude that the bark of jatobá has a promising feedstock for power generation by thermochemical processes such as gasification.

Key words: Gasification, ComGás Simulation, Jatobá, Bioenergy.

1. INTRODUÇÃO

A conscientização ambiental, associada à economia e a necessidade do desenvolvimento, tem gerado nos países um incomodo para tomarem medidas de enquadramento à nova tendência mundial de sustentabilidade. Devido a isso, é crescente a preocupação e a utilização de novas fontes de energia que substituam as fontes fósseis, objetivando diminuir a pressão sobre os combustíveis oriundos de fontes não renováveis, visando reduzir ao máximo a liberação de gases poluidores à natureza e investindo em novas tecnologias que gerem energia de forma eficaz e que sejam ecologicamente corretas (TANNOUS & MIRANDA, 2012).

Uma alternativa bem atraente para o alcance desses objetivos citados é a utilização da biomassa para geração de energia e a descentralização de geração energética. O uso da madeira para fins energéticos já é bem conhecido e praticado mundialmente, mas outra possibilidade deste uso para geração de energia é por meio do aproveitamento dos resíduos oriundos da colheita florestal e do beneficiamento dos frutos, sementes e cascas da madeira (OLIVEIRA & LOBO, 2002). Durante o processo de exploração e colheita florestal são deixados no campo, folhas, galhos e cascas que possuem excelente potencial para serem recuperados e aproveitados para geração de energia (GOMÊZ, 2011).

No caso do Brasil, a energia oriunda da biomassa é uma alternativa bastante atraente, especialmente na Região do Cerrado, onde há comunidades extrativistas que são responsáveis pela geração de diversos resíduos florestais oriundos da colheita e beneficiamento de frutos, madeira, entre outros produtos. Após a exploração florestal muitos resíduos ficam dispostos na natureza de maneira incorreta e sem uma destinação final determinada (TANNOUS & MIRANDA, 2012). A quantidade de resíduos florestais gerados por ano pós-colheita, levando em consideração no cálculo do volume às cascas, tocos e cavacos, é de aproximadamente 50.778 ton/ano de resíduos oriundos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. (Dias *et.al.*, 2012). Em razão disso, é essencial investir em pesquisas para caracterizar as propriedades físicas e químicas das biomassas, seu comportamento em processos de conversão térmica, assim como os problemas relacionados à composição das cinzas e fusibilidade, a fim de avaliar o seu potencial de aplicação como fonte alternativa de energia em processos termoquímicos (Brito, 2010).

A biomassa florestal possui várias vantagens ambientais, principalmente pelo seu caráter renovável e sua contribuição para a redução dos gases de efeito estufa. Entretanto, esta fonte de energia apresenta desvantagens físicas e químicas quando comparada aos combustíveis de origem fóssil, que muitas vezes exercem papel determinante na escolha pelos não renováveis. A biomassa por ser um material bastante heterogêneo necessita que haja processos de torná-la um combustível eficiente e competitivo. Os processos existentes seguem basicamente duas vias: a biológica (que se utiliza de agentes biológicos ou bioquímicos) e a termoquímica (que utiliza do calor como principal agente de transformação) (RODRIGUES, *et.al.*, 2011).

Uma das vias termoquímicas que mais tem atraído à sociedade mundial em relação à produção energética é o processo da gaseificação. A gaseificação é a conversão termoquímica de material sólido ou líquido, que contém carbono em sua composição, em um combustível gasoso por meio da oxidação parcial a temperaturas elevadas (800°C - 1.200°C), e em pressões atmosféricas ou maiores, até 33 bar (LORA,

et.al., 2008). O gás resultante do processo pode ser aplicado em processos industriais de produção de hidrogênio para células combustíveis, metanol e vários produtos químicos como amônia. A utilização fim do gás será definida de acordo com as suas características, como: poder calorífico, concentração de particulados, presença de alcatrão, dentre outros. A tecnologia da gaseificação é diversa e dinâmica, pois há gaseificadores que atendem diversos tipos de biomassa e a qualidade do gás produto do processo irá depender das condições operacionais adotadas e das características da biomassa utilizada (LORA & VENTURINI, 2010).

As cascas da árvore do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa Mart.*) é um exemplo de biomassa florestal que pode ser utilizada por meio da gaseificação para geração de gás de síntese, com o intuito de diminuir a quantidade de resíduos florestais dispostos de forma incorreta no meio ambiente, e, além disso, gerar energia de maneira sustentável e eficiente.

O jatobá-do-cerrado é uma espécie florestal que ocorre no Cerrado e Cerradão, essa árvore atinge um DAP (diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 cm do solo) de até 50 cm, possui folhas alternas e os seus frutos são classificados como legume seco, indeiscente. A floração ocorre, principalmente nos meses de outubro até abril e a sua frutificação de julho a novembro. A primeira frutificação da árvore começa na faixa de 8 a 10 anos de idade após o plantio. Possui pouca exigência em fertilidade do solo; essa espécie é adaptada ao desenvolvimento em pleno sol ou a meia sombra, preferência de plantio em solos bem drenados (CARVALHO, 2007; ÁVILA *et. al.*, 2012).

Esta espécie é muito utilizada por comunidades extrativistas que retiram a casca do tronco para produção de garrafadas e, além disso, utilizam a madeira como lenha para fim doméstico. Sua madeira é empregada na construção civil e naval, e a polpa de seus frutos é utilizada na culinária brasileira na fabricação de bolos e tortas (BATISTA *et. al.*, 2011; CHANG, 1998; MATUDA, 2005; BRASIL, 2002).

O objetivo deste trabalho é reportar a caracterização da casca da árvore do jatobá-do-cerrado a fim de avaliar o seu potencial energético quando aplicado à tecnologia de gaseificação e correlacionar os dados obtidos por meio do experimento de gaseificação laboratorial com os dados adquiridos por meio da simulação computacional de gaseificação com o *software* Comgas. Além disso, foi utilizado o estudo de Tiangco *et.al.*, (1996) para se obter a taxa específica de gaseificação (ψ) e a eficiência do gás frio.

2. METODOLOGIA

2.1 Origem da biomassa analisada

O experimento foi realizado com as cascas da árvore do jatobá-do-cerrado, resultantes da coleta de madeira e frutos, de um plantio localizado no estado de Goiás, região Centro-Oeste, Brasil. Este plantio florestal pertence à Rede de Comercialização Solidária de Agricultores Familiares e Extrativistas do Cerrado (Empório Cerrado), que produz, industrializa e comercializa os frutos oriundos do jatobá (Site Empório do Cerrado).

Para a casca da árvore do jatobá, foram feitas as seguintes análises:

2.1.1 Análise Imediata conforme a Norma NBR 8112/86 com adaptações

Forneceram as frações, em peso de: umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo.

2.1.2 Análise Elementar conforme a Norma NBR E775, E777, E778 e E870

Forneceram as frações em peso dos principais elementos que compõem a biomassa: carbono (C), oxigênio (O), nitrogênio (N) e hidrogênio (H). Esses elementos foram determinados pelo equipamento Perkin Elmer Series 2400 II CHN Análise Elementar e os demais elementos, exceto O, o qual foi calculado a partir dos resultados de CHN. Os demais elementos foram determinados por espectrometria de fluorescência de raio-X (FRX/EDX), utilizando um espectrômetro, modelo 720, Shimadzu, com tubo de ródio como fonte de raios-X.

2.2 Análise lignocelulósica

- Determinação do Teor de Lignina Solúvel e Insolúvel conforme o respectivo procedimento laboratorial: LAP #003 (Templeton & Ehrman, 1995) e LAP #004 (Templeton & Ehrman, 1995)

- Determinação de Extrativos Totais em Etanol: Tolueno (2:1), conforme a seguinte norma, com adaptações: Norma TAPPI T 204 om-88 – *Solvent extractives of wood and pulp*.

- Determinação de Holocelulose: O teor de holocelulose sem extrativos foi calculado por diferença, onde se subtraíram de 100%, os teores de lignina total e o teor de cinzas livres de extrativos.

2.3 Análises térmicas (TGA/DTG/DTA)

As curvas de TGA/DTG-DTA foram obtidas em um analisador simultâneo modelo SDT 2960 da *TA Instruments*, com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ da temperatura ambiente ($\cong 25^{\circ}\text{C}$) até 1000°C em fluxo de 100mL/min de ar sintético ($80 \pm 0,5$ de N_2 e $20 \pm 0,5$ de O_2).

2.4 Poder calorífico

A determinação do poder calorífico superior (PCS) da biomassa estudada foi determinada por meio da norma ABNT/NBR 8633, usando a bomba calorimétrica IKA C 2000 Basic - Labcontrol, e como unidade calorimétrica a kcal/kg.

2.5 Simulação com software Comgás

Os dados experimentais de gaseificação e as condições de operação do reator se encontram no trabalho de Viana (2015). O modelo de simulação numérica adotado pelo Comgás (RENDEIRO *et.al.*, 2008), considera simplificações das reações químicas em 0D (SOUZA-SANTOS, 2004), na condição de equilíbrio químico, minimização da energia livre de Gibbs e estado estacionário. Este modelo considera que o tempo de residência dos reagentes é prolongado o bastante, para chegar ao equilíbrio químico, e garantir que todo o carbono presente na biomassa seja convertido em gás, portanto, os produtos químicos gerados a partir da reação de gaseificação, são todos gasosos, prevalecendo as espécies químicas de baixo peso molecular, tais como: CO , CO_2 , H_2O , H_2 , N_2 e CH_4 (RUGGIERO & MANFRIDA 1999; ZAINAL *et.al.*, 2001). O objetivo principal do programa é facilitar o entendimento dos processos da gaseificação e combustão, e, além disso, auxiliar no desenvolvimento de processos termoquímicos, para melhor aproveitamento energético de biomassas.

Para a execução da simulação da gaseificação foi introduzido os dados obtidos por meio da análise elementar (CHNO), o teor de cinzas obtido conforme a metodologia Norma ABNT/NBR 8112/86 e o poder calorífico superior (PCS) adquirido de acordo com a norma NBR 8633 da ABNT/1984. Com base nas concentrações dos gases produzidos pela gaseificação real das biomassas analisadas CG/TCD neste estudo e nos gráficos gerados pelas simulações, foi calculado o Beta real, considerando a razão de equivalência correspondente à concentração de Monóxido de Carbono (CO) real e o Beta estequiométrico fornecido pelo programa.

2.6 Correlação com a metodologia desenvolvida por Tiangco *et.al.*, (1996)

Tiangco *et.al.*, (1996) desenvolveu uma metodologia para definir a Taxa Específica de Gaseificação (φ) de gaseificador de pequena escala, com o intuito de se obter a maior eficiência do gás. Essa variável é obtida por meio da razão entre o consumo de biomassa (kg/h) e a área da secção do reator (diâmetro), sendo que o seu valor fica na faixa entre 100-400 kg/m².h. No estudo executado pelo autor supracitado, foi possível comprovar que quando variava a taxa específica de gaseificação, havia alteração significativa na eficiência do gás. Devido a isso, foi desenvolvido um equacionamento para se calcular a eficiência do gás frio, por meio dessa taxa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise imediata

Para que os resíduos agroindustriais possam ser utilizados para a geração de energia, por meio da gaseificação, é necessário que a biomassa de alimentação tenha uma especificação própria, pois conforme suas propriedades químicas, físicas e morfológicas haverá um tipo de gaseificador específico para cada biomassa. As principais características da biomassa que devem ser controladas são teores de umidade, de voláteis, de cinzas e de carbono fixo, como mostrado na Tabela 1. A coluna 2 da Tabela 1 apresenta os valores obtidos para a casca da árvore do jatobá, e a coluna 3 da Tabela 1 há os dados encontrados pela literatura, para a mesma biomassa analisada, conforme Kleinlein (2010).

Tabela 1 - Teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo para a casca da árvore do Jatobá e o teor especificado na literatura (KLEINLEIN, 2010)

Biomassa	Casca da árvore do Jatobá	Literatura (Kleinlein, 2010)
Teor Médio de Umidade (%)	11,56	9,40
Teor Médio de Material Volátil (%)	75,36	79,06
Teor Médio de Cinzas (%)	1,08	0,37
Teor de Carbono Fixo (%)	23,56	20,57

Quando se compara o teor de umidade das cascas da árvore do jatobá, mostrado na Tabela 1, de 11,56%, com o valor encontrado na literatura, observa-se que o valor encontrado está bem próximo ao relatado por (KLEINLEIN, 2010). O teor de umidade é um dos fatores que afeta o processo de queima e de geração de calor, como o teor de umidade de cascas de árvores geralmente são menores que 20%, a queima dentro de gaseificadores, incineradores ou outra tecnologia de conversão energética, ocorrerá de maneira rápida. Em decorrência, do baixo teor de umidade da biomassa analisada, é necessário um maior controle na reação de queima. O equipamento utilizado para o processo de queima, seja o gaseificador ou outra tecnologia de conversão termoquímica, deverá ser monitorado a todo tempo, pois como o combustível tem uma baixa umidade, a temperatura utilizada na etapa de evaporação da água será mínima, logo, a energia fornecida pelo processo de combustão será o suficiente para iniciar o processo de gaseificação que ocorre acima de 800°C (REED, 2002).

Outra informação relevante é o teor de materiais voláteis, pois eles apresentam um impacto direto no teor de alcatrão dos gases gerados pelo processo de gaseificação. De acordo com Gonçalo Rendeiro (2008), geralmente os teores de voláteis para biomassa vegetal variam de 50–80%. As cascas da árvore do jatobá-do-cerrado apresentaram 75,36%, logo está dentro da faixa de valor estimado para esta variável na literatura, conforme Kleinlein (2010). Os valores sofrem variação devido às características do solo e do clima onde a biomassa foi cultivada. O teor de voláteis influencia diretamente o teor de alcatrão nos gases dentro do reator, a facilidade de ignição, a queima dos sólidos e a estabilidade da chama. Segundo Bizzo (2003) quanto maior o teor de voláteis, mais rápida será a queima do material, que vai depender de sua composição e estrutura física, e menor será a estabilidade da chama.

O teor de cinzas da biomassa varia de 0,1%, no caso da madeira, até 15% em alguns materiais agrícolas. Para a casca da árvore do jatobá, o teor de cinzas foi de 1,08%, valor significativo quando se trabalha com cascas de árvores. Normalmente, espécies do Cerrado não apresentam elevados teores de cinzas como as espécies da região Amazônica brasileira. O valor obtido por meio da análise imediata para o teor de cinzas é superior ao alcançado pela literatura reportada. Isso pode ser justificado pelas características do sítio florestal onde se cultivou a espécie e, principalmente, pela adubação química realizada na planta. O baixo teor de cinzas é excelente para o processo de gaseificação, pois não se observará a formação de escória no reator, devido este valor ser inferior a 6% (BIZZO, 2003).

O teor de carbono fixo representa, basicamente, a concentração de carbono da amostra de biomassa, embora contenha em pequenas quantidades elementos como Enxofre, Hidrogênio, Nitrogênio e

Oxigênio. Comparado à literatura, os valores estão próximos ao esperado (RIBEIRO, 2007).

3.2 Análise elementar

A análise elementar da biomassa influencia diretamente o seu poder calorífico e a capacidade poluidora, pois a maior presença de Carbono e Hidrogênio aumenta o PCS, pois as ligações de carbono-hidrogênio são mais energéticas do que as com o oxigênio. A composição química da casca do jatobá *in natura* é apresentada na Tabela 2.

Os principais elementos encontrados na biomassa foram Carbono (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O); isso afeta na composição dos gases produzidos pelo processo de gaseificação, que serão gases considerados mais “limpos” e com significativo poder calorífico superior (SANCHEZ, 2010; ITAI, 2011).

Tabela 2 - Composição química elementar da casca da árvore do jatobá-do-cerrado *in natura* obtida por análise elementar (CHNOS/ FRX/EDX), (% massa, base seca)

Compostos	Casca da árvore do Jatobá-do-Cerrado	% Literatura (Kleinlein, 2010)
C	47,880	50,17
H	5,120	5,77
O	45,370	38,42
N	0,530	4,97
K ₂ O	0,394	
CaO	0,497	
SO ₃	0,071	
P ₂ O ₅	0,047	
Fe ₂ O ₃	0,015	

A composição química da biomassa analisada por CHNO em relação aos compostos C, H, O e N não apresentaram diferenças consideráveis em relação à mesma composição de madeiras de diversas espécies, coníferas e folhosas, e, além disso, não apresentou diferenças significativas segundo o estudo de Kleinlein (2010).

As maiorias das madeiras existentes na natureza apresentam a seguinte composição química elementar: Carbono (C) - 49-50%, Hidrogênio (H) - 6%, Oxigênio (O) - 44-45% e Nitrogênio (N) - 0,1-1% (KLOCK *et.al.*; 2005).

Na Tabela 3 é apresentada a composição química obtida por (CHNOS/ FRX/EDX) das cinzas oriundas da análise imediata da casca da árvore do jatobá-do-cerrado. A presença de um alto teor de oxigênio nas cinzas da biomassa analisada comprova que a matéria orgânica presente na biomassa sofreu oxidação total, e que ao final do processo somente restou os materiais inorgânicos e materiais que provavelmente estavam misturados à biomassa *in natura*, como: terras, areia, etc.

Tabela 3 - Composição química elementar das cinzas da casca da árvore do jatobá-do-cerrado obtida por análise elementar (CHNOS/ FRX/EDX), (% massa, base seca)

Compostos	Casca da árvore do Jatobá-do-Cerrado
C	6,120
H	3,050
O	89,60
N	0,050
K₂O	0,286
CaO	0,388
MgO	0,288
SO₃	0,032
SiO₂	0,062

No resultado da análise elementar das cinzas da casca da árvore do jatobá é possível observar a presença de óxidos oriundos de diversos elementos químicos relacionados ao ambiente de crescimento das árvores, como: K₂O, CaO, P₂O₅, SO₃ e SiO₂. A presença desses compostos químicos nas cinzas da biomassa analisada pode ser justificada, segundo os seguintes autores Freddo (1997) e Buchanam (1981).

De acordo com Freddo (1997), os principais íons minerais presentes nas cinzas de biomassa, principalmente madeira, são: cálcio, magnésio, potássio, enxofre, baixas quantidades de sódio, manganês, alumínio, ferro, cromo, zinco, cobre, entre outros. Além desses minerais, algumas biomassas podem conter em suas cinzas, radicais como: silicatos, sulfatos, carbonatos e cloretos. A quantidade desses elementos químicos na biomassa vegetal varia com a espécie, com a disponibilidade no solo e a época do ano.

Segundo Buchanam (1981), os compostos inorgânicos estão presentes na biomassa, pois eles proporcionam a biomassa maior re-

sistência ao desenvolvimento de organismos. Geralmente, os compostos inorgânicos aparecem na forma de cristais de oxalato de cálcio ou potássio e sílica, e a proporção destes na biomassa está relacionada diretamente as condições ambientais que o vegetal encontrou no decorrer de seu crescimento.

3.3 Análise lignocelulósica

Os resultados médios das análises químicas realizadas na casca da árvore do jatobá-do-cerrado e os resultados encontrados pela literatura para a casca e madeira do cajueiro, e, também para a madeira de *Eucalyptus urograndis* estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados das análises químicas da casca a árvore do jatobá-do-cerrado e resultados de literatura para madeira de *Eucalyptus urograndis* a casca e madeira do cajueiro

Componentes	Casca da árvore do Jatobá-do-Cerrado	Madeira de <i>Eucalyptus urograndis</i> ARAÚJO (2000)	Casca da madeira do Cajueiro MONTENEGRO <i>et.al.</i> , (2010)	Madeira do Cajueiro MONTENEGRO <i>et.al.</i> , (2010)
Extrativos	13,25	-	0,61	0,92
Holocelulose	60,69	73,94	70,08	78,62
Lignina	38,07	25,72	29,31	20,46

A casca da árvore do jatobá-do-cerrado apresentou, em média, teor de extrativos de 13,25%, valor significativo em comparação com a casca da madeira do cajueiro e também com a madeira do cajueiro, que apresentaram respectivamente 0,92% e 0,61% de teores de extrativos. A diferença apresentada pode estar ligada com a presença de diversas espécies de extrativos encontrados na casca do jatobá, como: compostos terpênicos, taninos, substâncias amargas, matérias resinosas e pécticas, amido, açúcares e compostos fenólicos, esses elementos possuem função ante diversos microrganismos (PANIZZA, 1997; PINTO *et al.*, 2000; STUBBLEBINE & LANGENHEIM, 1980; LORENZI & MATOS, 2002).

O teor médio de holocelulose para a casca do jatobá foi de 60,69%, valor que apresentou diferença significativa quando comparado com a casca do cajueiro que foi de 70,08%, e, também apresentou diferença em relação ao teor de holocelulose das madeiras do cajueiro e madeira do *Eucalyptus grandis*. Em relação ao teor de lignina médio, apresentado pela casca da árvore do jatobá-do-cerrado, que foi de 38,07%, pode-se observar que essa espécie florestal obteve o maior

teor de lignina dentre as duas espécies contidas na Tabela 4.

Com base nos resultados apresentados em relação à casca do jatobá em comparação com as biomassas citadas pela literatura, pode-se concluir que a casca possui grande potencial energético para a geração de energia, pois os teores de extrativos e lignina foram superiores ao encontrado pela literatura para a madeira, que já é uma biomassa bem estabelecida no mercado energético. Segundo Quirino *et.al.*, (2005) a condição de queima de um material combustível é considerada como ótima, quando se encontra com teor de umidade até 25%, mas também está influenciada diretamente pela constituição química do material (lignina e extrativos), que elevam consideravelmente seu PCS.

3.4 Poder calorífico

O poder calorífico, seja ele PCS, PCI ou PCU, influencia na escolha do combustível, seja se tratando de biomassa ou outra fonte energética, conforme o demonstrado na Tabela 4. O poder calorífico útil (PCU) corresponde ao quanto maior a umidade da casca do jatobá, menor será a energia aproveitada durante uma queima, no caso, gerará mais energia durante a gaseificação. O poder calorífico superior (PCS) é a quantidade de calor liberado pela queima (combustão), de modo que a água proveniente desta queima esteja em estado líquido (volume constante). É diretamente proporcional ao teor de carbono fixo e inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis, independentemente do material usado. Quanto ao aumento do poder calorífico superior com a elevação do teor de cinzas, isto foi provocado por um efeito indireto. Normalmente, o poder calorífico e a qualidade do carvão reduzem com o aumento do teor de cinzas. O poder calorífico inferior (PCI) é a quantidade de calor liberado pela queima, de modo que a água proveniente da queima esteja em estado gasoso (volume variável) (TRUGILHO, 2001; ALVES, 2010).

Tabela 5 - Valores encontrados dos poderes caloríficos para as cascas da árvore do jatobá-do-cerrado

Biomassa	PCS	PCI	PCU
Casca da árvore do jatobá-do-cerrado	4.876 kcal/kg	4.599,52 kcal/kg	3.998,45 kcal/kg

O PCS da biomassa analisada é de 4.876 kcal/kg, valor muito próximo ao relatado por VALE *et.al.*, (2002) para a mesma biomassa, que foi de 4.795,40 kcal/kg. A diferença de valores está associada à

origem da casca da espécie, pois o local de plantio e o clima influenciam diretamente sobre as características físicas, químicas e biológicas do vegetal. O valor do PCI para a biomassa foi de 4.599,52 kcal/kg e o PCU de 3.998,45 kcal/kg. O PCI é extremamente importante quando se trabalha com combustíveis para energia, pois ele é a energia efetivamente disponível, por unidade de massa, após a dedução das perdas com a evaporação da água presente no combustível (Jara, 1989). O teor de umidade do combustível sempre precisa ser levado em consideração, pois quanto maior o teor de umidade da biomassa menor o seu poder calorífico, e, além disso, esse parâmetro influencia diretamente no valor do manejo e transporte do material (CUNHA, 1989).

Comparando o valor do PCS encontrado para a casca da árvore do jatobá-do-cerrado com o valor de PCS encontrado por Quirino (2005) para a madeira da mesma espécie, que foi de 4.851 kcal/kg, pode-se perceber que a casca do jatobá apresenta elevado potencial para ser utilizada como combustível no processo de gaseificação para geração de energia, pois o poder calorífico é uma das características mais relevantes quando o objeto tratado é de caráter energético.

A diferença entre os valores do PCS da casca do jatobá e da madeira da mesma espécie é justificada segundo a afirmação feita por Jara (1989), que o poder calorífico superior (PCS) varia conforme a parte da árvore que esteja em processo de queima. Portanto, a madeira irá se comportar diferentemente quando for submetida ao processo de combustão em relação à casca da árvore, como foi observado no experimento realizado.

3.5 Análise térmica (TG/DTG/DTA)

A curva TGA/DTG/DTA da casca do jatobá apresentou três regiões principais de perda de massa (RIEGEL, *et.al.*; 2008), conforme Figura 1.

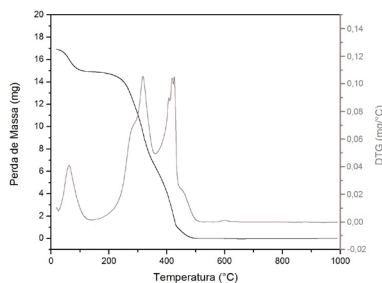


Figura 1 - Curvas de TG/DTG da casca da árvore do jatobá-do-cerrado em atmosfera de ar sintético

Três zonas de perda de massa podem ser observadas no TG/DTG (Figura 3): A primeira, ~100°C relacionada à perda de água fisicamente adsorvida na superfície da biomassa e a saída dos materiais voláteis. Por meio da curva de DTG, pode-se verificar que esse evento ocorreu na zona, cujo pico máximo se apresentou em 62,76°C, apresentando perda de massa de 11,76%. A segunda zona ocorreu na região entre 101 - 350°C, apresentando pico máximo em 318,82°C com perda de massa de 50,40%. Essa zona está relacionada à degradação térmica da hemicelulose, celulose e início da degradação da lignina, além da degradação de extrativos orgânicos de alta massa molecular, presentes na biomassa (FENGEL, 1984; SHINEWAID, 1985). Há também a perda de gases como CO e CO₂ e líquido leves, como ácido acético e metanol. A terceira zona ocorreu na faixa de 350 - 450°C e o pico máximo foi em 426,77°C. A perda de massa correspondente a essa zona foi de 33,25%. Nessa zona ocorre a intensa cisão das cadeias poliméricas (depolimerização) da celulose, acompanhada da decomposição da lignina, sendo a decomposição da celulose o processo dominante nessa etapa (RIEGEL, *et.al.*; 2008).

Em relação à curva de DTA, Figura 2, foi observado um pico endotérmico e dois picos exotérmicos. O pico endotérmico pode ser observado na temperatura de 68,72°C e os picos exotérmicos apareceram nas seguintes temperaturas: 335,93°C e 426,21°C. O pico endotérmico está relacionados com os seguintes eventos: à evaporação da água e rearranjo molecular de compostos orgânicos de baixo peso molecular. Entretanto, os picos exotérmicos são correspondentes à combustão da matéria orgânica.

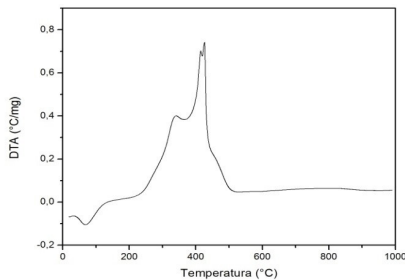


Figura 2 - Curva de DTA da casca da árvore do jatobá-do-cerrado em atmosfera de ar sintético

3.6 Simulação para a casca da árvore do jatobá-do-cerrado

Na Figura 3 é possível observar o gráfico obtido por meio da simulação dos dados das características da casca da árvore do jatobá-do-cerrado. Comparando o dado real da concentração de CO, de 35,6% (v/v), com o dado adquirido por meio da simulação para este gás, é possível verificar que a razão de equivalência correspondente a essa concentração é de $\phi = 3,4$. Este valor é significativo para a condução da gaseificação, pois a razão de equivalência ideal para a condução do processo da gaseificação é ($\phi > 1$), precisamente no valor de ($\phi = 2,5$), ou seja, com uma quantidade de ar insuficiente para gerar a oxidação total (combustão) do combustível, empregado no processo. Segundo Parente (2012), a razão de equivalência é o parâmetro fundamental para o controle das reações químicas dentro do gaseificador, pois é necessário existir energia suficiente liberada pelas reações exotérmicas para o surgimento das reações endotérmicas. De acordo com este mesmo autor, quando o $\phi > 1$, caracteriza uma condição de queima rica, logo o sistema do reator está realizando o trabalho em regime de oxidação parcial, (gaseificação).

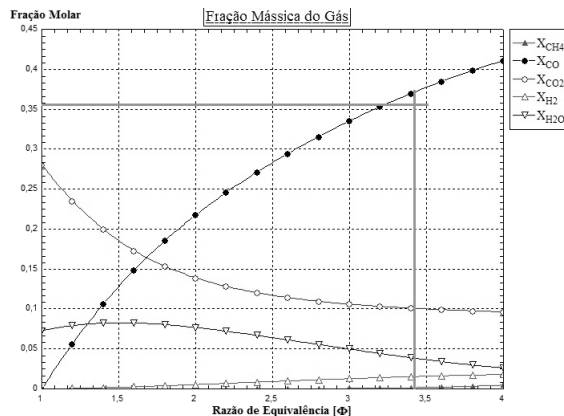


Figura 3 - Simulação da casca da árvore do jatobá-do-cerrado obtido por meio do *software* ComGas

Com uma razão de equivalência de $\phi = 3,4$, há uma condição significativa para a produção de H_2 e CO, pois a formação destes gases tende a crescer com maiores razões de equivalência. Pode-se observar que em razões de equivalências baixas, o processo termoquímico que ocorre no reator fica próximo a combustão completa da biomassa, pois a concentração de dióxido de carbono (CO_2) e de água (H_2O) aumentam. Como dentro do reator ocorrem várias reações químicas ao mesmo tempo, a concentração de H_2 é resultado de dois processos

opostos, de um lado ocorre à reação de deslocamento de água que tende a decompor a água em hidrogênio a altos teores de umidade. Entretanto, quando a temperatura abaixa para altas razões de combustível e ar, e altos teores de umidade, parte do hidrogênio é convertido em gás metano (CH_4) (ITAI, 2011).

As concentrações de H_2 , CO_2 , CH_4 e outros gases, adquiridas por meio da análise da cromatografia gasosa (CG/TCD), foram respectivamente: 15,4% (V/V), 4% (V/V) e 44,9% (V/V). Comparando os dados adquiridos por meio da gaseificação real, com os obtidos por meio da simulação, pode-se observar que a tendência da concentração de H_2 e CH_4 é crescer, e a de CO_2 é diminuir. As concentrações destes gases obtidos por meio da simulação foram diferentes em relação à composição dos gases oriundos da gaseificação realizada em laboratório em reator contracorrente (*Updraft*). Os teores de H_2 e CO não atingiram valores tão significativos na gaseificação, isso pôde ter sido afetado pela granulometria e umidade do material inserido no gaseificador. Segundo Assumpção (1981), materiais lignocelulósicos exercem certa influência na composição dos gases, pois materiais com granulometria pequena queimam rapidamente no interior do reator, prejudicando o andamento das reações de gaseificação. Caso a granulometria seja heterogênea, como a utilizada no experimento, é recomendado pelo autor que a distribuição de tamanhos de partículas em cada carga seja razoavelmente constante de acordo com o reator empregado.

Por meio da realização de cálculos envolvendo a razão de equivalência e o beta estequiométrico, foi possível encontrar o valor da relação ar-combustível que foi de 0,88, baseado no estudo de Tiangco (1996). A partir da relação ar-combustível, foi encontrado o valor para a taxa de gaseificação específica (ψ) para o ensaio da casca da árvore do jatobá-do-cerrado, que foi de $100 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$, conforme o estudo de Tiangco *et al.*, (1996), o qual determina um intervalo de valores para a taxa específica de gaseificação. Este autor considera que reatores de pequena escala devem ter um bom regime de gaseificação entre $100 \leq \psi \leq 400 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$. Considerando as informações adotadas por Tiangco, o experimento foi conduzido com uma boa taxa específica de gaseificação, pois o valor encontrado está dentro do intervalo considerado por este autor para reatores de pequena escala, como o empregado em escala laboratorial.

O valor encontrado para a eficiência do gás frio gerado por meio da gaseificação da casca da árvore do jatobá-do-cerrado foi de 40%. O valor encontrado para a eficiência do gás frio foi considerado significativo em relação à taxa específica de gaseificação de $100 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$, pois o valor ficou dentro do esperado em relação aos dados encontrados por Tiangco *et al.*,(1996). A eficiência do gás frio é um parâmetro importante para quantificar o desempenho do processo de gaseificação, pois baseado nesse fator de saída é possível determinar

qual a melhor maneira de se utilizar o gás.

O valor encontrado para o PCI do gás foi de 7,70 MJ/kg, que segundo SORDI *et al.* (2006), é considerado gás de médio poder calorífico. O poder calorífico do gás oriundo do experimento é considerado significativo, quando comparado ao valor médio do poder calorífico de gás de síntese, gerado por meio de processos de gaseificação, utilizando o ar como agente gaseificante, que é de 5 MJ/kg. Este valor de médio poder calorífico pode ser justificado com base na utilização de ar atmosférico como agente gaseificante no processo de gaseificação. Como o agente gaseificante utilizado apresenta alto teor de Nitrogênio em sua composição, logo o gás síntese resultante do processo termoquímico é afetado negativamente em seu valor de poder calorífico. Além dessa justificativa para o valor do poder calorífico, pode se considerar o tipo de reator utilizado no experimento, que é do tipo contracorrente, um reator simples, mas que possui como desvantagem a produção de um gás extremamente rico em alcatrão. Segundo Cortez (2008), reatores deste tipo geram gás de síntese com elevado teor de alcatrão e particulados, o teor de alcatrão situa-se na faixa de 20-100 g/Nm³ e o teor de particulados (fuligem) entre 0,1-0,2 g/Nm³ (CORTEZ, 2008 e GOMÉZ, 2011 e MCKENDY, 2002).

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos acerca da análise lignocelulósica, análise térmica, análise elementar, análise do poder calorífico, análise imediata e simulação computacional, com o software Comgas, da casca da árvore do jatobá-do-cerrado, permitem inferir que, em comparação aos dados alcançados pela literatura abordada, essa biomassa possui elevado potencial para vir a ser empregada como fonte de matéria-prima para geração de energia por meio do processo da gaseificação. A árvore do jatobá-do-cerrado é uma espécie florestal que possui condições de fornecer o ano inteiro matéria-prima para a geração de energia descentralizada, pois a quantidade coletada pela empresa Empório do Cerrado é de 5-10 ton./mês para uso medicinal, mas se o objetivo central for à bioenergia, a empresa apresenta potencial de coletar dez vezes mais a quantidade atual de biomassa.

Para a sua utilização como combustível em processos termoquímicos, como a gaseificação, é recomendado que seja projetado e construído um reator que atenda as características específicas da biomassa utilizada, a fim de melhorar o aproveitamento energético do material utilizado. É igualmente recomendável utilizar a casca da árvore do jatobá-do-cerrado no processo de gaseificação, como pode ser observado no presente estudo, pois essa biomassa apresenta uma composição química e física muito heterogênea, o que implicaria mais

operações unitárias para o processo produtivo, se utilizasse outras tecnologias de conversão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. L. Alternativa para estimar o preço da madeira para energia. Ciências ISSN 1517-5030. Colombo, PR. Dezembro, Embrapa, 2010.

ASSUMPÇÃO, R. M. V. Gaseificação de madeira e carvão vegetal. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. Gaseificação de madeira e carvão vegetal. Belo Horizonte. p. 51-72, 1981.

ÁVILA, de R.; OLIVEIRA, L.F.; ASHERI, D.R.P. Caracterização dos frutos nativos dos Cerrados. Revista de Agrotecnologia, v.1, número 1, p.53-69, 2012.

BATISTA, A. G.; ESTEVES, E. A.; DESSIMONI-PINTO, N. A. V.; OLIVEIRA, L. G.; PIRES, S. T.; SANTANA, R. C. Chemical composition of jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) flour and its effect on growth of rats. Alim. Nutr., Araraquara, v. 22, n. 2, p. 173-180, abr./jun. 2011.

BIZZO, W.A. Combustíveis. Geração, Distribuição e Utilização de Vapor, cap.2, 2003.

BRASIL. MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO (MAPA). EMBRAPA. Frutas nativas do cerrado brasileiro: aproveitamento Alimentar. Brasília: Embrapa, 2002.

BRITO, P; RODRIGUES, L.; OLIVEIRA, A. Aproveitamento Energético de Biomassa. Centro Interdisciplinar de Investigação e Inovação. Instituto Politécnico de Porto Alegre, 2010.

BUCHANAN, M. A. Extraneous components of wood: the chemistry of wood. New York: R. Krieger, 689 p., 1981.

CARVALHO, P.E.R. Jatobá-do-Cerrado. (Circular Técnico). CONSERVATION INTERNATIONAL. Biodiversity Hotspots, Colombo/PR: Embrapa Florestas, 133p., 2007.

CHANG, Y. K.; SILVA, M. R.; GUTKOSKI, L. C.; SEBIO, L.; SILVA, M. A. A. P. Development of Extruded Snacks Using Jatoba (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) Flour and Cassava Starch Blends. , v. 78, n. 1, p. 59-66, 1998.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; E. O. GOMEZ. "Biomassa para energia." Editora da Unicamp: Campinas, 2008.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DE OLIVEIRA, J. M. C. da; LOBO, P.C. Avaliação do potencial energético de resíduos de biomassa Amazônica. 2002.

DIAS, S.C.J.M.; SOUZA, D.T.; Braga, M.; ONOYAMA, M.M.; MIRANDA, B.H.C.; BARBOSA, D.F.P.; ROCHA, D.J. Produção de Briquetes e Péletes a partir de Resíduos Agrícolas, Agroindustriais e Florestais. Embrapa Agroenergia, Brasília, DF, 2012.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood chemistry, ultrastucture, reactions. New York: De Gruyter, 1989.

FREDDO, A. Elementos minerais em madeira de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 69 p., 1997.

GÓMEZ, E.O.; LORA, E.E.S.; CORTEZ, L.A.B. Biomassa Para Energia. Capítulo I: Biomassa no Brasil e no Mundo. Editora Unicamp, 2ª reimpressão, 2011.

ITAI, Yuu. Simulação numérica da gaseificação de biomassa em leito fixo. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, 2011.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

KLEINLEIN.W. A. Energy biomass characterization for amazon species. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering Copyright © 2010 by ABCM December 05-10, Uberlândia, MG, Brazil, 2010.

Klock, U.; Muñiz, G.I.B.de.; Hernandez, J.A.; Andrade, A.S.de. Química da Madeira. Apostila, 3ª edição revisada, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005.

LORENZI, H. & MATOS, F. J. A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 512p., 2002.

MATUDA, T.J; NETTO, F.M. Caracterização química parcial da semente de jatobá do cerrado. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 25(2): 353-357, abr.-jun. 2005.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Bioresource Technology, 83: 55–63, 2002.

NBR 8112/86. (1986). Carvão vegetal – Análise imediata. São Paulo, SP, Brasil: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

NBR 8633/84. (1984). Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. São Paulo, SP, Brasil: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ORTIZ, P. A. S.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. S. Estado-da-Arte da Tecnologia IGCC para a Utilização de Coque de Petróleo e Carvão Mineral.

PANIZZA, S. Plantas que curam (cheiro de mato). 15. ed. São Paulo: IBRASA, 279p., 1988.

PARENTE, R. B. Desenvolvimento de reator poroso de gaseificação de biomassa líquida por oxidação parcial aplicado ao glicerol. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2012.

PINTO, J. E. B. P.; SANTIAGO, E. J. A. & LAMEIRA, O. A. Compêndio de plantas medicinais. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 208p., 2000.

QUIRINO, W. F; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. Revista da Madeira, n.89. abr. 2005, p. 100-106.

REED, T.B. Encyclopedia of Biomass Thermal Conversion. The Biomass Energy Foundation Press.2002.

RENDEIRO, G. Combustão e gasificação de biomassa sólida. Ministério de Minas e Energia (MME), 2008.

RIBEIRO, R.D.S. Investigação experimental e integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 92 p., 2007.

RIEGEL, I. Moura, A. B. D.; MORISSO, F. D. P.; MELLO, F. de Souza. Análise termogravimétrica da pirólise da acácia- negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) cultivada no Rio Grande do Sul, Brasil, 2008.

RODRIGUES, T. O., ROUSSET, P., DO VALE, A. T., & Broust, F. Bioóleo: Uma Alternativa para Valorização Energética da Biomassa. Revista Brasileira de Energia. Vol. 17, No. 2, pp. 39-56, 2011.

RUGGIERO, M.; MANFRIDA, G. An equilibrium model for biomass gasification processes. Renewable energy, v. 16, n. 1, p. 1106-1109, 1999.

SÁNCHEZ, C. G. Tecnologia da gaseificação de biomassa. Campinas: Editora Átomo, 2010.

SORDI, A., SILVA, E. P. D., & LOBKOV, D. D. (2006). Gaseificação de biomassa e célula a combustível: sistema com célula tipo PEMFC. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.

SOUZA-SANTOS, Marcio L. Solid Fuels Combustion and Gasification: Modeling, Simulation. CRC Press, 2010.

STUBBLEBINE, W.H. & LANGENHEIM, J.H. Estudos comparativos da variabilidade na composição da resina da folha entre árvore parental e progênie de espécies selecionadas de *Hymenaea*: comparação de populações Amazônicas com uma população do Sudeste brasileiro. Acta amazonica, Manaus, v.10, n.2, p.293-309, 1980.

TANNOUS, K.; MIRANDA, F. Avaliação do Potencial Energético de Biomassas Vegetais. Revista de Ciências Exatas, EDUR, volume 27/31, n.2, jul-dez., p.97, Rio de Janeiro, 2012.

TAPPI - T 204 om-88. (s.d.). TAPPI - T 204 om-88 - Solvent extratives of wood and pulp. Atlanta, GA: TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T 211 om-93. (s.d.). TAPPI - T 211 - Ash in wood, pul, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, GA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T222 om-88. (s.d.). TAPPI - T222 om-88 - Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp. Atlanta, GA: TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T250. (s.d.). TAPPI - T250 - Acid-soluble lignin in wood and pulp. Atlanta, GA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T-264 om-88. (1996). T-264 om-88 - Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta, GA: TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TEMPLETON, D., & Ehrman, T. (1995). Determination of Acid-Insoluble Lignin in Biomass - LAP-003. National Renewable Energy Laboratory - NREL.

TEMPLETON, D., & Ehrman, T. (1995). Determination of acid-Soluble Lignin in Biomass - LAP-004. National Renewable Energy Laboratory - NREL.

TIANGCO, Valentino M.; JENKINS, Bryan M.; GOSS, John R. Optimum specific gasification rate for static bed rice hull gasifiers. *Biomass and Bioenergy*, v. 11, n. 1, p. 51-62, 1996.

TRUGILHO, P. F., Silva, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá. 2001.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; LEÃO, A.L. Quantificação e Caracterização Energética da Madeira e Cascas de Espécies do Cerrado. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

ZAINAL, Z. A. et al. Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials. *Energy conversion and management*, v. 42, n. 12, p. 1499-1515, 2001.

