



CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DO CARVÃO VEGETAL DE AROEIRA (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) E LEUCENA (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit)

ENERGY CHARACTERISTICS OF CHARCOAL AROEIRA (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) AND LEUCAENA (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit)

Lázaro Lavoisier Honorato da Silva¹ Elisabeth de Oliveira² Leandro Calegari³
Marllus Adiel Carneiro Pimenta¹ Alexandre Santos Pimenta⁴ Maysa Kévia Linhares Dantas⁵

RESUMO

A exploração de madeira com finalidade energética (lenha e carvão) vem provocando redução na vegetação nativa, agregado a isto, problemas são gerados para fauna, flora e solo. O objetivo da pesquisa foi avaliar as características energéticas do carvão vegetal produzido com madeira de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). Foi realizada a supressão de cinco exemplares de *Myracrodruon urundeuva* e *Leucaena leucocephala*, seguindo-se critérios de qualidade fenológica e de sanidade. A carbonização foi realizada em duplicata, utilizando a madeira anidra. Também foi realizada análise química imediata do carvão, determinação da densidade verdadeira e densidade aparente. O poder calorífico superior foi determinado por meio de calorímetro adiabático. O experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), e os valores foram submetidos à análise de variância pelo teste “F” em nível de 5% de probabilidade de erro. A madeira de *Myracrodruon urundeuva* e *Leucaena leucocephala* apresentaram rendimento sem diferenças estatísticas, com 41,22% e 40,59% de carvão. A densidade aparente do carvão da madeira de *Myracrodruon urundeuva* (0,59 g/cm³) foi maior que a de *Leucaena leucocephala* (0,39 g/cm³), porém, as espécies mostraram-se semelhantes para a densidade verdadeira do carvão, com 1,21 g/cm³ e 1,11 g/cm³, respectivamente. Da mesma forma, o poder calorífico superior do carvão não apresentou diferença entre as madeiras das espécies, *Myracrodruon urundeuva* (6.869 kcal/kg) e *Leucaena leucocephala* (6977 kcal/kg). A quantidade de materiais voláteis liberados e de cinzas produzidas foi superior na madeira de *Myracrodruon urundeuva*, com 33,87% e 3,79%. Já o teor de carbono fixo foi maior na *Leucaena leucocephala* (67,15%). As espécies estudadas apresentaram características energéticas semelhantes, portanto, a madeira de *Leucaena leucocephala* pode ser utilizada para produção e utilização do carvão vegetal quando comparadas as espécies nativas já conhecidas e usadas para os mesmos fins.

Palavras-chave: Caatinga; carvão vegetal; poder calorífico; rendimento.

- 1 Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Universitária, s/n, CEP 58708-110, Patos (PB), Brasil. lazarolavoisier@bol.com.br
- 2 Engenheira Florestal, Dr^a., Professora Titular da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Universitária, s/n, CEP 58708-110, Patos (PB), Brasil. betholiveira12@gmail.com
- 3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Universitária, s/n, CEP 58708-110, Patos (PB), Brasil. leandrocalegari@yahoo.com.br
- 4 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado da Unidade de Ciências Agrárias, Escola Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN 160 Km 3, s/n, CEP 59280-000, Macaíba (RN), Brasil. aspimenta@ufrnet.br
- 5 Engenheira Ambiental, Mestranda em Ciências Florestais, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Universitária, s/n, CEP 58708-110, Patos (PB), Brasil. maysakevia@hotmail.com

Recebido para publicação em 19/03/2015 e aceito em 19/08/2016

ABSTRACT

The exploitation of wood energy purposes (firewood and charcoal) has caused reduction in native vegetation, added to this, problems are generated for fauna, flora and soil. The objective of the research was to evaluate the energy characteristics of charcoal Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) and *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). Suppression of five specimens of *urundeuva Myracrodruon* and *Leucaena leucocephala* was performed, following quality, phenological and health criteria. Carbonization was performed in duplicate, using anhydrous wood. Also, it was carried out the coal chemical analysis and the determination of true and bulk densities. The gross calorific value was determined by adiabatic calorimeter. The experiment was arranged in a completely randomized design (DIC) and the values were submitted to analysis of variance by the test “F” at 5% of probability level. The *Myracrodruon urundeuva* wood and *Leucaena leucocephala* showed no statistical differences, with 41.22% and 40.59% of charcoal. The apparent density of charcoal *Myracrodruon urundeuva* (0.59 g / cm³) was higher than that of *Leucaena leucocephala* (0.39 g / cm³), but the species were similar to the true density of charcoal, with 1.21 g / cm³ and 1.11 g / cm³, respectively. Similarly, the gross calorific value of charcoal showed no difference between species the wood, *Myracrodruon urundeuva* (6869 kcal / kg) and *Leucaena leucocephala* (6977 kcal / kg). The amount of released volatiles and ash produced was higher on the wood *Myracrodruon urundeuva* with 33.87% and 3.79%. The fixed carbon content was higher in *Leucaena leucocephala* (67.15%). The species showed similar energy characteristics so the wood of *Leucaena leucocephala* can be used for the production and the use of charcoal when compared to the native species which are already known and are used for the same purposes.

Keywords: Caatinga; charcoal; calorific value; yield.

INTRODUÇÃO

O sertão nordestino é a região semiárida que concentra a maior densidade demográfica do mundo, provocando, assim, uma forte pressão antrópica sobre as florestas, e é devido à forma de exploração não sustentável na Caatinga que os processos de degradação no bioma evoluem rapidamente. Para o desenvolvimento responsável de uma região ou até mesmo de um país, é fundamental que as questões ambientais, principalmente no que tange à sustentabilidade para uso dos recursos florestais, sejam um assunto a ser discutido (BRASIL, 2008; GARIGLIO et al., 2010).

As matas da Caatinga são classificadas como floresta arbóreo-arbustiva, com adaptação ao clima semiárido, presença de cactos, bromélias e estrato herbáceo durante a estação chuvosa. Considerada pela população uma mata pouco diversificada, sem utilidade e até mesmo um obstáculo para desenvolvimento da região. Contudo, os produtos oriundos da Caatinga representam bem a atividade do homem nordestino, com o provimento de produtos madeireiros como lenha, carvão e estaca, bem como produtos não madeireiros, a exemplo do mel, frutos e plantas medicinais (BRASIL, 2008; GARIGLIO et al., 2010). A exploração de madeira com finalidade energética (lenha e carvão), vem provocando redução na vegetação nativa.

A madeira de *Myracrodruon urundeuva* Allemão é conhecida diferentemente dependendo da região em que se encontra inserida, como: aderno, almecega, arendeúva, arindeúva ou aroeira. A denominação aroeira é originária da abreviatura de “araroeira”, ou seja, arara e do sufixo “eira”, que significa árvore da arara. É uma espécie de porte arbóreo, copa grande e caducifólia, tronco retilíneo e madeira de alta densidade. Para o setor energético, a lenha e carvão são de boa qualidade, com poder calorífico em torno de 4.582 kcal·kg⁻¹. No estado cearense, a madeira é utilizada em fornos (caieiras) e, segundo os oleiros, a lenha é boa porque “a queima acontece devagar” (CARVALHO, 2003; MAIA, 2004).

O impacto causado com a crise do petróleo fez com que o Brasil descobrisse, na biomassa do cultivo de florestas homogêneas, a solução para o problema energético, já que havia grande disponibilidade de terra e condições climáticas favoráveis à produção de madeira. Assim, o carvão vegetal aparece como destaque, por tratar-se de um insumo energético amplamente utilizado pela siderurgia brasileira (OLIVEIRA et al., 1982).

A utilização de espécies arbóreas exóticas vem ganhando destaque no cenário nacional frente ao setor de produção de energia. No Nordeste, algumas espécies bastante conhecidas mostraram potencialidade

energética bem satisfatória, a exemplo da algaroba (*Prosopis juliflora*) e do eucalipto (*Eucalyptus* spp.).

A leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit) é uma espécie exótica, leguminosa, pertencente à família Mimosaceae, de porte arbóreo-arbustiva, podendo alcançar uma altura de 20 m e diâmetro a altura do peito (DAP) de 30 cm, com ampla diversidade de uso, justificando seu emprego como opção de plantio em regiões tropicais. No semiárido, cultivos com seis anos de idade têm mostrado desenvolvimento considerável, quando a finalidade de uso da madeira é para lenha e carvão. De um modo geral, as variedades empregadas no Brasil apresentam poder calorífico variando entre 4200 e 4600 kcal·kg⁻¹, rendimento de carvão de 34,7% em relação à madeira seca, 81% de carbono fixo e 1,5% de conteúdo de cinzas (FRANCO; SOUTO, 1986; DRUMOND; RIBASKI, 2010). Porém, as características podem variar de acordo com as condições climáticas em que as mesmas se encontram.

Os insumos madeireiros usados como fonte energética são empregados, muitas vezes, sem as informações mínimas que quantifiquem e qualifiquem o produto final. Assim, o conhecimento do potencial energético da madeira torna-se um estudo de grande relevância, porque, a partir desse conhecimento, pode-se determinar um aproveitamento melhor da madeira extraída das florestas, seja ela nativa, seja ela plantada, de forma a atenuar os impactos ambientais. Segundo Oliveira et al. (2010), as propriedades que qualificam o carvão vegetal são de caráter físico e químico. A densidade do carvão e poder calorífico representam as propriedades de caráter físico. O carbono fixo, o teor de cinzas, os materiais voláteis e a umidade fazem parte da composição química do carvão. Com isso, o objetivo da pesquisa foi avaliar as características energéticas do carvão vegetal produzido com madeira de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit).

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparação do material

Foi realizada a supressão de cinco exemplares das espécies *Myracrodruon urundeuva* Allemão (aroeira) e *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit (leucena), seguindo-se critérios de qualidade fenológica e de sanidade. Os exemplares da *Myracrodruon urundeuva* foram coletados no Sítio Arapuá, localizado no município de Uiraúna - PB, sob as coordenadas 6°33' de latitude Sul e 38°25' de longitude Oeste. A temperatura média anual varia entre 23 e 30°C, com o regime pluviométrico baixo e irregular (400 a 600 mm/ano), solo predominante do tipo Podizólico Vermelho-Amarelo, de composição arenoargilosa (BRASIL, 2005). Os exemplares da *Leucaena leucocephala* foram coletados no horto florestal da UFCG, Campus de Patos - PB, com coordenadas 07°01' de latitude Sul e 37°15' de longitude Oeste. O local apresenta temperatura e precipitação média anual de 28°C e 700 mm respectivamente, e umidade relativa do ar de 55% (BRASIL, 2005).

Em cada árvore, foram coletados toretes com comprimento de 15 cm, nas duas extremidades da seção em cada posição de amostragem longitudinal ao fuste comercial das árvores, ou seja, na porção basal (0%), a 25, 50, 75% e 100% da altura comercial do tronco (limite de nível de inclusão, Ø ≥ 5 cm). As amostras foram identificadas e conduzidas ao Laboratório de Energia do Setor de Tecnologia de Produtos Florestais (STPF) da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal (UAEF) da UFCG, Campus de Patos - PB. Os toretes foram transformados em cavacos e homogeneizados por árvore e secos ao ar livre, para realizar a carbonização.

Carbonização da madeira

De cada amostra foram retirados aproximadamente 500 g de cavacos e colocados em estufa a 105 ± 3°C, por 24 h, para obter a madeira anidra. Dessa porção, foram empregados 300 g de cavacos no processo de carbonização, com tempo total de 5,5 h. Para proceder à carbonização, os cavacos foram colocados em um cadinho metálico, aquecido em um forno elétrico (mufla), acoplado a um condensador adaptado para essa operação, tendo a elevação da temperatura programada manualmente com diferentes marchas de aquecimento: 150°C por 1,0 h; 200°C por 1,0 h; 250°C por 1,5 h; 350°C por 1,5 h; e 450°C por 0,5 h.

As carbonizações foram realizadas em duplicatas, totalizando 10 processos por espécies. Os gases/vapores foram transportados por meio do condensador, e o líquido pirolenhoso foi recolhido em um kitasato. Concluídas as carbonizações, foi aferido o rendimento em carvão vegetal. A análise química imediata, determinação da densidade verdadeira e densidade aparente foram realizadas em duplicata.

Análise do carvão

A análise química imediata foi realizada de acordo com a ABNT NBR 8112 (1986), com determinações de matérias voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo em base seca. As densidades verdadeira e aparente do carvão foram calculadas de acordo com as ASTM-D-167-73, adaptadas por Oliveira, Gomes e Almeida (1982). O poder calorífico superior foi determinado por meio de calorímetro adiabático, de acordo com a ABNT NBR 8633 (1984).

Delineamento experimental

O experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por dois tratamentos (espécies) e cinco repetições (árvores). Os valores foram submetidos à análise de variância pelo teste “F” em nível de 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do Programa Estatístico “ASSISTAT” (SILVA; AZEVEDO, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento gravimétrico, obtido após o processo de carbonização, não apontou diferença significativa entre as espécies estudadas, com valores médios de 41,22% (*Myracrodruon urundeuva*) e 40,59% (*Leucaena leucocephala*) de carvão em relação à madeira seca (Tabela 1). Já o rendimento em carbono fixo apontou diferença significativa, sendo superior para o carvão vegetal da madeira de *Leucaena leucocephala* (27,26%) em relação ao da madeira de *Myracrodruon urundeuva* (25,67%).

A carbonização da madeira originará produtos de caráter sólido, líquido e gasoso, em que a quantidade e qualidade variam em combinação com a velocidade de aquecimento (ALMEIDA; REZENDE, 1982). Oliveira et al. (2010) afirmam ainda que, além da velocidade de aquecimento, o rendimento em carvão e suas propriedades variam com a temperatura da carbonização.

Os valores conseguidos no rendimento gravimétrico, quando comparados aos valores obtidos por Medeiros Neto et al. (2012), para duas espécies da Caatinga, foram superiores ao da madeira *Handroanthus impetiginosus* (37,90%), porém, inferiores ao da madeira *Poincianella pyramidalis* (43,03%). O rendimento em carvão vegetal pode influenciar diretamente na escolha da espécie a ser utilizada na produção, principalmente por se tratar de atividade em larga escala. O rendimento que Vale, Dias e Santana (2010) obtiveram para cinco espécies do Cerrado (*Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium*, *Sclerolobium paniculatum*, *Stryphnodendron adstringens* e *Vochysia thyrsoidea*) foram todos inferiores aos encontrados para a *Myracrodruon urundeuva* e a *Leucaena leucocephala*. Comparando a *Leucaena leucocephala* à outra espécie exótica já utilizada como fonte de energia no Brasil, a mesma apresentou rendimento em carvão superior ao encontrado por Botrel et al. (2007), quando estudaram nove diferentes clones de *Eucalyptus* para melhorar geneticamente as propriedades do carvão.

Parâmetros físicos que qualificam o carvão vegetal, como a densidade aparente e a densidade verdadeira, apresentam valores médios que são vistos na Tabela 2, além do poder calorífico superior do carvão vegetal. Para a densidade aparente, *Myracrodruon urundeuva* com 0,59 g/cm³ mostrou-se superior à *Leucaena leucocephala* com 0,39 g/cm³. Já a densidade verdadeira encontrada para a madeira *Myracrodruon urundeuva* e *Leucaena leucocephala* apresentaram valores semelhantes, com 1,21 g/cm³ e 1,11 g/cm³, respectivamente. Trugilho et al. (2001), avaliando diferentes clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal, encontraram resultados médios para densidade aparente do carvão variando entre 0,40 e 0,49 g/cm³. A densidade do carvão é uma propriedade física que está ligada à densidade da madeira, à temperatura e à velocidade de carbonização, devendo esta ser a maior possível (MENDES; GOMES; OLIVEIRA, 1982).

TABELA 1: Valores médios para rendimento gravimétrico e rendimento em carbono fixo da madeira de *Myracrodruon urundeuva* e de *Leucaena leucocephala*.TABLE 1: Average values for gravimetric yield and fixed carbon yield of woods *Myracrodruon urundeuva* and *Leucaena leucocephala*.

Espécie	Árvore	Rendimento Gravimétrico (%)	Rendimento em Carbono Fixo (%)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	1	41,91	25,55
	2	37,83	25,09
	3	40,23	24,22
	4	43,20	27,03
	5	42,92	26,45
Médias	—	41,22a	25,67b
<i>Leucaena leucocephala</i>	1	40,67	27,11
	2	41,04	27,43
	3	41,25	28,03
	4	40,29	26,93
	5	39,72	26,80
Médias	—	40,59a	27,26a
QMRes	—	2,656	0,735
CV(%)	—	3,98	3,24

Em que: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste “F” a 5% de probabilidade de erro.

O resultado encontrado para o poder calorífico superior (Tabela 2) não mostrou diferença significativa entre as duas espécies avaliadas, entretanto, numericamente, houve uma superioridade do carvão de *Leucaena leucocephala* (6.977 kcal/kg) sobre o da *Myracrodruon urundeuva* (6.869,338 kcal/kg). Medeiros Neto et al. (2012), estudando o poder calorífico superior do carvão da espécie *Handroanthus impetiginosus*, encontraram valor de 6977 kcal/kg, sendo maior que do carvão de *Myracrodruon urundeuva* e semelhante ao da *Leucaena leucocephala*. Porém o carvão de *Poincianella pyramidalis* apresentou valor calórico de 6247 kcal/kg, sendo menor que os observados nas duas espécies avaliadas neste trabalho. A quantidade de energia liberada na combustão do carvão é uma propriedade relevante, a fim de substituir os combustíveis fósseis por carvão vegetal em sua utilização como fonte de energia (MENDES; GOMES; OLIVEIRA, 1982).

O teor de materiais voláteis encontrado nas amostras de *Myracrodruon urundeuva* (33,87%) apresentou superioridade significativa, quando confrontados com as amostras de *Leucaena leucocephala* (31,34%) (Figura 1). A quantidade de cinzas do carvão de *Myracrodruon urundeuva* também foi superior à da de *Leucaena leucocephala*, em que a primeira apresentou 3,79% e a segunda 1,50%, resultando em um teor de carbono fixo significativamente maior para *Leucaena leucocephala* (67,15%) em relação à *Myracrodruon urundeuva* (62,34%). A quantidade de carbono fixo no carvão vegetal é uma propriedade relevante no setor produtivo de ferro gusa, em que o carvão vegetal é utilizado para liberar o carbono que será fundido ao ferro. Para espécies da Caatinga, Medeiros Neto et al. (2012) encontraram 67,68% de carbono fixo na *Handroanthus impetiginosus* e 60,58% *Poincianella pyramidalis*.

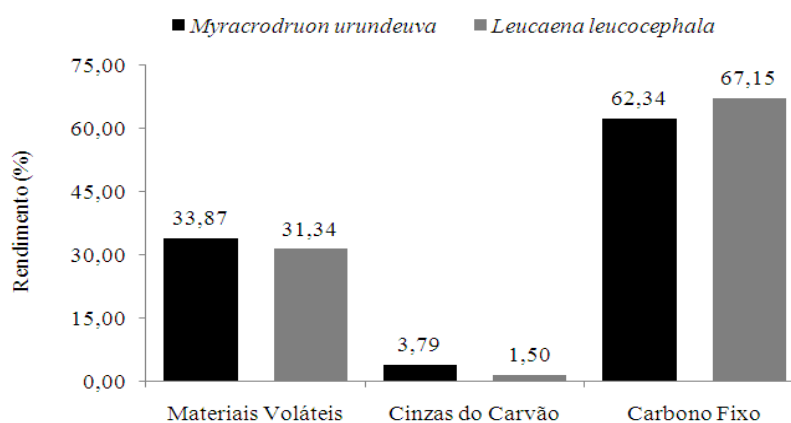
Os percentuais encontrados para *Myracrodruon urundeuva* e *Leucaena leucocephala* de materiais voláteis e cinzas do carvão foram superiores aos encontrados por Botrel et al. (2007), em vários clones de *Eucalyptus*, porém, apresentaram menores teores de carbono fixo. Almeida et al. (2015), encontram valores médios semelhantes em espécies da Caatinga (*Amburana cearensis* 32,61% e *Piptadenia stipulacea* 32,04%) para materiais voláteis e carbono fixo (*Amburana cearensis* 63,07% e *Piptadenia stipulacea* 66,07%).

Os materiais voláteis liberados do carvão podem ser indesejados em alguns casos, principalmente em churrascarias, cujos assados podem ficar impregnados com o cheiro desse material. A estrutura do carvão também é afetada pelos voláteis, pois a eliminação destes pode alterar bastante algumas características físicas do carvão, como porosidade, diâmetro dos poros e densidade do carvão (OLIVEIRA, 2003).

TABELA 2: Valores médios para análises físicas do carvão vegetal da madeira de *Myracrodruon urundeuva* e de *Leucaena leucocephala*.TABLE 2: Average values for physical analyses of charcoal from woods *Myracrodruon urundeuva* and *Leucaena leucocephala*.

Espécie	Árvore	DA (g/cm ³)	DV (g/cm ³)	PCSC (kcal/kg)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	1	0,58	1,23	6.764
	2	0,53	1,24	6.743
	3	0,52	1,23	6.822
	4	0,68	1,27	7.305
	5	0,65	1,11	6.710
Médias	—	0,59a	1,21a	6.869a
<i>Leucaena leucocephala</i>	1	0,37	0,93	6.897
	2	0,42	1,03	7.270
	3	0,37	1,20	7.060
	4	0,37	1,07	6.425
	5	0,41	1,30	7.232
Médias	—	0,39b	1,11a	6.977a
QMRes	—	0,003	0,012	89.111,774
CV(%)	—	10,89	9,61	4,31

Em que: DA (densidade aparente); DV (densidade verdadeira); QMRes (quadrado médio do resíduo); CV (coeficiente de variação). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste “F” a 5% de probabilidade de erro.

FIGURA 1: Análise química imediata do carvão vegetal da madeira de *Myracrodruon urundeuva* e de *Leucaena leucocephala*.FIGURE 1: Immediate chemical analysis of charcoal from woods *Myracrodruon urundeuva* and *Leucaena leucocephala*.

As propriedades químicas do carvão, tais como teor de carbono fixo, teor de substâncias voláteis e cinzas, possuem relação com o teor de lignina da madeira, havendo, assim, uma relação diretamente proporcional entre o teor de carbono fixo e os teores de lignina, extrativos e densidade da madeira e inversamente proporcional com o teor de voláteis (OLIVEIRA et al., 2010). Assim, um carvão vegetal de melhor qualidade apresenta-se com alta densidade e resistência, baixas taxas de voláteis e cinzas (CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA, 2008).

CONCLUSÕES

O rendimento em carvão obtido com o processo de carbonização da madeira de *Myracrodruon urundeuva* e de *Leucaena leucocephala* não diferiu estatisticamente. O efeito da espécie foi não significativo para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal.

O carvão da madeira de *Myracrodruon urundeuva* apresentou densidade aparente superior à madeira *Leucaena leucocephala*, porém, os valores médios da densidade verdadeira não foram diferentes entre si. Da mesma forma, o carvão de *Myracrodruon urundeuva* obteve maiores teores de materiais voláteis e menor teor de carbono fixo em relação à *Leucaena leucocephala*.

O poder calorífico superior das espécies em estudo, *Myracrodruon urundeuva* e *Leucaena leucocephala*, foi semelhante estatisticamente. Portanto, a madeira de *Leucaena leucocephala* pode ser utilizada para produção e utilização do carvão vegetal quando comparadas às espécies nativas já conhecidas e usadas para os mesmos fins.

AGRADECIMENTOS

A toda a equipe de trabalho do Laboratório de Energia do Setor de Tecnologia de Produtos Florestais (STPF) da UFCG, *Campus* de Patos - PB, bem como aos demais colaboradores.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. M. C. et al. Avaliação físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke e *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith de ocorrência no semiárido nordestino brasileiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 165-173, 2015.
- ALMEIDA, M. R.; REZENDE, A. E. A. O processo de carbonização contínua da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 143-156.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Brasília, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**. Carvão vegetal: análise imediata. Brasília, 1986.
- BOTREL, M. C. G. et al. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. **Manejo sustentável dos recursos florestais da Caatinga**. Natal: MMA, 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Uiraúna, estado da Paraíba. Recife: MMA, 2005. 10 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Patos, estado da Paraíba. Recife: MME, 2005. 10 p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.
- CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. **Carvão vegetal**: aspectos técnicos, sociais, ambientais e econômicos. Nota técnica. 2008. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_x.pdf> Acesso em: 18 abr. 2013.
- DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. *Leucena (Leucaena leucocephala)*: leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. **Comunicado Técnico**, Petrolina, n. 142, p. 1-8, 2010.
- FRANCO, A. A.; SOUTO, S. M. *Leucaena leucocephala* – uma leguminosa com múltiplas utilidades para os trópicos. **Comunicado Técnico**, Brasília, n. 2, p. 1-7, 1986.
- GARIGLIO, M. A. et al. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368 p.
- MAIA, G. N. **Caatinga**: árvores e arbustos e suas utilidades. 1. ed. São Paulo: D&Z, 2004. 413 p.
- MEDEIROS NETO, P. N. et al. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 579-588, 2012.

- MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. O processo de carbonização continua da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 77-89.
- OLIVEIRA, A. C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.
- 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, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Propriedades do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, controle de qualidade**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 39-61.
- OLIVEIRA, J. B. et al. Produção de Carvão Vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 61-73.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., Reno. **Anais...** [s. l.]: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013.
- TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.
- VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.