

POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA DE *Copaifera arenicola* ENDÊMICA DO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO

ENERGY POWER OF WOOD OF THE SPECIE *Copaifera arenicola* ENDEMIC OF THE NORTHEAST BRAZILIAN

Dráuzio Correia Gama¹, José Monteiro do Nascimento Júnior², Saly Takeshita³,
Ananias Francisco Dias Júnior⁴

^{1, 2, 3} Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil – drauziogama@hotmail.com,
monteirojunior50@gmail.com & takeshita.sa@gmail.com

⁴ Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil – ananiasjr@usp.br

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar a composição química e o poder calorífico da madeira de *Copaifera arenicola* visando aplicações energéticas. Para isso foram retiradas amostras das posições da base, 25%, 50%, DAP, 75% e 100% da altura total do fuste de árvore. Foram realizados ensaios para a determinação da composição química (teores de extrativos totais, lignina e holocelulose) e do poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). Foram observados valores médios de 4.427 kcal kg⁻¹ para o PCS e 4.123 kcal kg⁻¹ para o PCI, teores de extrativos de 20,2% e 31,5% de lignina; para o teor de holocelulose obteve-se 48,4% e para o teor de cinzas o valor médio foi de 1,93%. As variáveis analisadas da madeira foram consideradas elevadas ao se comparar com os de outras espécies relatadas na literatura, podendo considerar a madeira de *C. arenicola* com potencial para uso energético.

PALAVRAS-CHAVE: **Copaíba, Energia da biomassa, Espécie endêmica, Poder calorífico superior.**

ABSTRACT

This study aimed to analyze a chemical composition and calorific value of *Copaifera arenicola* wood for energy applications. For this, samples of the wood were obtained in the positions of the base, 25%, 50%, DAP, 75% and 100% of the total height of the trunk. Tests were carried out to determine the higher calorific value (HC), lower calorific value (LC) and chemical composition (total extractives, lignin and holocellulose). Were observed values of 4,427 kcal kg⁻¹ to the HC and 4,123 kcal kg⁻¹ to the LC. The extractive contents were 20.2% and 31.5% of lignin. Was obtained to the holocellulose content 48.4% and for the ash content 1.93%. The analyzed variables were considered high when compared with other species reported in the literature. *C. arenicola* wood may be indicated as an important energy potential.

KEYWORDS: **Copaiba, Biomass energy, Endemic species, Higher calorific power.**

INTRODUÇÃO

O uso da biomassa para energia é uma das práticas mais antigas feitas pelo homem, sendo um dos principais insumos energéticos em países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil (GOLDEMBERG, 2009).

Do consumo mundial de biomassa para produção de energia, 8,74% corresponde à biomassa florestal sendo a maior parte (6,73%) na forma de lenha. No Brasil, com principais usos associados à indústria e ao comércio, assim como na utilização para cocção de alimentos em regiões de baixa renda, essa biomassa energética é proveniente tanto de florestas plantadas, em sua maior parte do gênero *Eucalyptus* L' Heritier como através de florestas nativas (DIAS JÚNIOR et al., 2015).

Como característica tecnológica da madeira, o poder calorífico, segundo Santos et al. (2011), é uma importante propriedade por expressar a quantidade de energia despreendida após a combustão completa da madeira. Relacionada a essa propriedade estão os constituintes químicos da madeira, como celulose, hemiceluloses e lignina, presentes na formação da parede celular e os extrativos com reconhecida variabilidade qualitativa e quantidade (SANTOS et al., 2016).

No desenvolvimento da madeira para uma dada espécie, os elementos químicos diferem em proporções e até mesmo em uma mesma árvore, variando da medula a casca e da base ao topo, variando seus parâmetros tecnológicos algumas de suas propriedades. Adicionado às características da madeira, tem-se o lenho juvenil, influenciada pelos fatores genéticos ou ambientais (VIDAURRE et al., 2011).

As pesquisas abordando espécies endêmicas oriundas do semiárido nordestino têm mostrado grande potencial para geração de energia, destacando-se produção eficiente de biomassa, mesmo que de baixa produtividade, mas elevadas densidades e com alto poder calorífico (SANTOS et al., 2013; MEDEIROS NETO et al., 2014; BRAND, 2017). Contudo, um número considerável de espécies arbóreo-arbustivas nessa região ainda permanece desconhecido (SANTOS et al., 2013).

Desse modo, incentivos aos estudos que abordem essa temática poderiam auxiliar ações de manejo para um melhor aproveitamento da vegetação lenhosa dessa região da caatinga, uma vez que a lenha como uso energético ainda é bastante comum e de grande viabilidade econômica, desde que seja feito sob manejo sustentável (LIMA JÚNIOR et al., 2015), evitando a degradação ambiental dessa vegetação coadunado com o desmatamento indiscriminado (ALVES et al., 2009).

Dentre as várias espécies endêmicas da Caatinga, tem-se a *Copaifera arenicola* ((Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz), com exclusiva ocorrência em quatro Estados Nordestinos, dentre eles o Estado da Bahia (COSTA & QUEIROZ, 2010). No município de Ribeira do Pombal, Bahia a madeira dessa espécie, reconhecida nessa região por miroró ou pau-preto é utilizada desde muito tempo de maneira empírica para fins energéticos, mas ainda desconhecida acerca do seu potencial energético que poderia subsidiar de forma mais ampla as suas diversas aplicações (GAMA & NASCIMENTO JÚNIOR, 2019).

Das espécies de *Copaifera* L. com ocorrência no Brasil,

poucas madeiras foram estudadas em termos tecnológicos, concentrando-se em algumas espécies como *Copaifera duckei* Ducke (LIMA et al., 2011); *Copaifera multijuga* HAYNE (FERRAZ et al., 2004) e *Copaifera langsdorffii* Desf. (SILVA et al., 2015), mas raramente abordando sobre o potencial energético.

Dessa forma, este estudo teve por objetivo analisar a composição química e o poder calorífico da madeira de *Copaifera arenicola* nas posições da base, 25%, 50%, DAP, 75% e 100% da altura comercial.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedência e amostragem

O material lenhoso foi obtido a partir de árvore de *C. arenicola* ((Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz), com média de 6,8 m de altura total, 28 cm de DAP (diâmetro a altura do peito a 1,30m do nível do solo), procedente de uma população com cerca de 20 anos de idade em uma área do município de Ribeira do Pombal, Bahia (Lat 10°51'47.71" S e Long 38°33'26.57" O). A densidade básica da madeira de *Copaifera arenicola* é de 0,614g.cm⁻³ (GAMA et al., 2018).

Foram coletadas amostras de serragem nas posições da base, 25%, 50%, DAP, 75% e 100% da altura comercial, considerando 90% de alburno e 10% de cerne. Na Figura 1 observam-se os discos com as respectivas posições de onde foram retiradas as amostras.

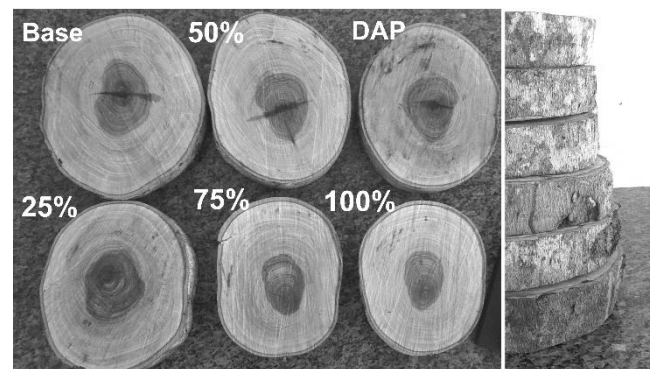


Figura 1. Discos das posições do fuste da árvore de *Copaifera arenicola*.

Determinação do poder calorífico

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado utilizando um calorímetro modelo Ika C500 e seguindo os procedimentos descritos pela norma brasileira NBR 8633/1984. A partir do PCS, o poder calorífico inferior foi determinado com o auxílio da Equação 1 (DIAS JÚNIOR et al., 2015):

$$PCI = (PCS - 25,11 \times U) / [9100 + U] \times 100 \quad \text{Equação 01}$$

Em que: PCI = poder calorífico inferior (kcal kg⁻¹); PCS = poder calorífico superior (kcal kg⁻¹); e U = umidade, base úmida (%).

Composição química

Para determinação da composição química da madeira foram realizados procedimentos para a determinação do teor de extrativos totais baseada na norma TAPPI T - 12 os - 75, teor de lignina klason segundo a norma TAPPI 222 os - 74. E por diferença o teor de holocelulose foi obtido com o auxílio da Equação 2:

$$\text{HOL (\%)} = 100 [\text{TE (\%)} + \text{TL (\%)}] \quad \text{Equação 02}$$

Em que: HOL = holocelulose; TE = teor de extrativo; e TL = teor de lignina.

O teor de cinzas (TCZ) foi determinado de acordo com a norma ASTM D1102-84, conforme a Equação 3:

$$\text{TCZ (\%)} = (\text{mc} / \text{ms}) \times 100 \quad \text{Equação 03}$$

Em que: TCZ = teor de cinzas; mc = massa de cinzas (g); e ms = massa de madeira seca (g)

Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando detectado diferença significativa procedeu-se a análise de comparação múltipla das médias por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$). Análises de regressão ($p < 0,05$) também foram realizadas visando explicar os efeitos das propriedades entre as variáveis TE e TL sobre o PCS estudado. Utilizou-se do software SISVAR®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as variáveis estudadas na madeira de *Copaifera arenicola* demonstram valores regulares para o potencial da madeira com base nos parâmetros que se tem observado para uso energético, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios dos teores de extrativos (TE), lignina (TL), holocelulose (HOL), cinzas (TCZ) e poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) da madeira de *Copaifera arenicola*.

Medida	PCS	PCI	TE	TL	HOL	TCZ
	(kcal kg ⁻¹)		(%)			
Média	4.426	4.123	20,18	31,46	48,36	1,93
DP	±73,93	±72,16	±2,23	±5,74	±6,85	±0,66

Nota-se um potencial energético da madeira de *C. arenicola* considerável com relação ao poder calorífico superior (PCS) acima de 4.000 kcal.kg⁻¹, encontrando-se próximo ao de algumas espécies também da Caatinga como umburana (4.369 kcal kg⁻¹) e ao de jurema-branca (4.584 kcal kg⁻¹), encontrados por Almeida et al. (2015).

Em Lima-Júnior et al. (2015) a madeira de jurema-preta apresentou PCS de 4.651 kcal kg⁻¹, umburana em 4.456 kcal kg⁻¹, catingueira em 4.190 kcal kg⁻¹, burra leiteira (*Sapium glandulosum* (L.) Morong.) em 4.079 kcal kg⁻¹, baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.) com 4.070 kcal kg⁻¹ e maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii* Pax & K.Hoffm) com 3.972 kcal kg⁻¹.

Ao realizar a comparação com espécies encontradas na região da Amazônia, por exemplo, espécies como urucum-da-mata (*Bixa arborea* Huber.) observou-se valores de PCS igual à 4.794 Kcal kg⁻¹, breu (*Protium apiculatum* Swartz) 4.615 kcal kg⁻¹ e na madeira de acariquarana (*Rinorea guianensis* Aubl.) com PCS de 4.665 kcal kg⁻¹ (MOUTINHO et al., 2016). Considerando os valores mencionados, os resultados obtidos em *C. arenicola* são tecnicamente aceitáveis viabilizando o uso da madeira para geração de energia.

Quanto ao teor de extrativos (TE), evidenciou-se elevado ao se comparar com o valor médio de 5% para madeiras de quatro clones de *Eucalyptus* spp. analisadas por Santos et al. (2011).

Em contrapartida, para o teor de lignina (TL) de 31,46%, característica associada ao rendimento em carvão vegetal e poder calorífico, observa-se um valor coadunante com os obtidos por Costa et al. (2014) para madeiras do cerrado. Como a holocelulose é determinada em função do teor de extrativos e do teor de lignina, comumente esta variável é a mais observada quando o intuito é uso energético, a qual com 48,3% presente na madeira tem valor considerável.

O fato de que apesar do teor de lignina está associado ao rendimento em carvão vegetal (PROTÁSIO et al., 2012), é importante considerar que só ele não deve ser utilizado de forma isolada para a seleção de espécies arbóreas visando a produção de energia. Variáveis como a densidade básica da madeira, produtividade de massa seca, características anatômicas do lenho e metodologias do processo de conversão também devem ser consideradas (DEMIRBAS, 2001).

Ao se considerar o uso da madeira para múltiplas aplicações, com base em diversas posições ao longo do tronco (base, 25%, 50%, DAP, 75% e 100% da altura total de um indivíduo), nota-se diferenças significativas, exceto para o poder calorífico superior e inferior, como pode ser observado na Tabela 2 e 3.

Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA) das propriedades da madeira em função da posição ao longo do fuste da madeira de *Copaifera arenicola* com 5 graus de liberdade (GL).

FV	Valor F	CV(%)
PCS	*0,384 ^{ns}	1,67
PCI	*0,384 ^{ns}	1,75
TE	*0,926 ^s	11,05
TL	*1,428 ^s	18,25
HOL	*1,212 ^s	14,16
TCZ	*1,495 ^s	30,44

FV = fator de variação; ns = não-significativo a 5% pelo teste F; s = significativo a 5% pelo teste F; PCS e PCI = poder calorífico superior e inferior; TE = teor de extrativo; TL = teor de lignina; HOL = teor de holocelulose; TCZ = teor de cinzas; (*) = Valor de F.

Desdobrando a análise de variância e analisando a Tabela 3, observa-se que das posições para o TE, apenas detectou-se diferença para os valores relativos ao ápice do fuste (100%), sendo considerado o menor valor. O TL, na posição de 50% do tronco foi identificado como o maior valor frente aos demais. Já para o TCZ, os maiores valores obtidos foram na base, a 25% e no diâmetro à altura do peito (DAP) da árvore ao se comparar com as demais posições. De forma semelhante, o teor de HOL, tiveram os maiores valores observado nas posições acima do DAP e na posição 25%.

Tabela 3. Teores de extrativos (TE), lignina (TL), holocelulose (HOL) e cinzas (TCZ) em diferentes posições ao longo do fuste (PF) de *Copaifera arenicola*.

PF	TE (%)	TL (%)	HOL (%)	TCZ (%)
Base	21,49 ^a	30,93 ^b	47,59 ^b	2,44 ^a
25%	19,49 ^a	27,42 ^b	53,10 ^a	2,43 ^a
50%	21,16 ^a	40,73 ^a	38,11 ^c	1,29 ^b
DAP	20,00 ^a	28,85 ^b	51,15 ^a	2,24 ^a
75%	21,37 ^a	28,66 ^b	49,97 ^a	1,45 ^b
100%	17,55 ^b	32,19 ^b	50,27 ^a	1,72 ^b

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

Com relação ao TCZ, os valores obtidos podem ser considerados baixos e que não comprometem o uso energético da madeira tanto como lenha para combustão quanto no processo de transformação em carvão. Paes et al. (2013), ao avaliarem três espécies de ocorrência na Caatinga, obtiveram TCZ inferiores a 2,10%. Os autores expõem que uma elevada quantidade de cinzas pode resultar na danificação dos equipamentos, além da necessidade de limpezas mais frequentes nos sistemas que utilizam a madeira como fonte energética.

Com relação ao TE, notou-se um valor superior a muitas espécies da Caatinga, como os teores observados para a madeira de catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz) com 11,81%, pau-d'arco (*Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) com 6,88% (MEDEIROS-NETO et al., 2012) e jurema-branca (*Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke.) em 13,17% (ALMEIDA et al., 2015). Esses resultados são vantajosos ao PCS, uma vez que alto TE contribui energeticamente ao poder calorífico da madeira (BUFALINO et al., 2012; CASTRO et al., 2013).

Também elevado foi o TL, relativamente, comparado a algumas madeiras de espécies nativas amazônicas como urucum-da-mata com 29,58%, breu com 26,57% e acariquarana com 27,69% (MOUTINHO et al., 2016).

Em relação às espécies da Caatinga, os valores obtidos neste estudo apresentaram-se superior ao da madeira de jurema-branca (25,84%) obtido por Almeida et al. (2015), onde para Couto et al. (2004), algumas folhosas podem chegar até 35%.

A HOL da madeira de *C. arenicola* é considerado baixo se

comparado a espécies amazônicas, como observados nos estudos realizados por Moutinho et al. (2016) com valores em torno de 60% para urucu-da-mata, breu e acariquarana. Almeida et al. (2015) obteve 59,8% estudando a HOL da madeira de jurema-branca e 49,27% em umburana (*Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smithe).

Segundo Costa et al. (2014) baixas concentrações dessa variável tornam a madeira favorável para produção de energia, principalmente na produção de carvão vegetal, isso porque alto teor tende em maior instabilidade térmica.

Com outras espécies da Caatinga, também não houve diferenças significativas comparado com a madeira de *C. arenicola* em relação ao PCS ao longo do fuste como nos estudos realizados por Paes et al. (2013) com as espécies angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), jurema-preta e jurema-vermelha (*Mimosa arenosa* (Willd.) Poir).

Ainda em Paes et al. (2013), por outro lado, encontraram diferenças significativas para as mesmas espécies nos teores de L, HOL, CZ, comportamento semelhante para os mesmos tipos de teores na madeira de *C. arenicola*.

Importante mencionar que o poder calorífico pode ser influenciado pelo teor de cinzas, que pode ser natural (derivados de substâncias inorgânicas que participam da nutrição do vegetal) ou poluído (incrustações de areia ou pedra), correspondendo ao material que não se queima e torna-se resíduo após o término da combustão. Isso sempre em uma relação inversamente proporcional entre o TCZ e o PCS, ou seja, quanto maior o TCZ, menor será o poder calorífico da madeira.

No entanto, de modo geral, esses valores não causam maiores problemas em relação ao uso como combustível. Para a espécie avaliada neste estudo, o valor obtido foi de aproximadamente 1,9%, valor inferior a de outras espécies encontradas na região do nordestino como a catingueira 3,69% (MEDEIROS NETO et al., 2012).

Por meio da análise de regressão da média total do fuste das variáveis estudadas TE e TL, nota-se fraca correlação com o PCS da madeira de *C. arenicola* (Figura 2 e Figura 3).

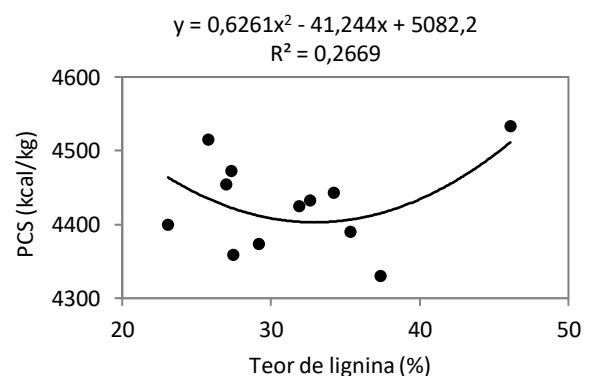


Figura 2. Análise de regressão ($p < 0,05$) entre o teor de lignina (TL) e o poder calorífico superior (PCS) da madeira de *Copaifera arenicola*.

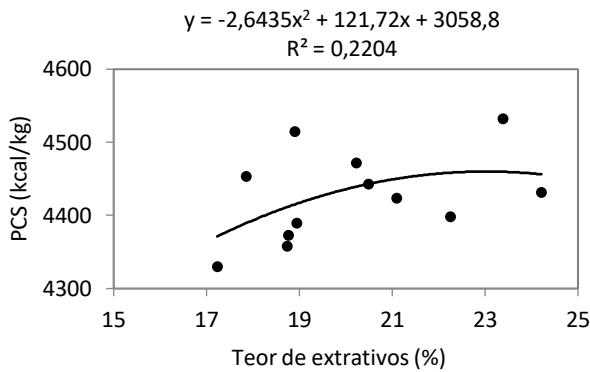


Figura 3. Análise de regressão ($p < 0,05$) entre o teor de extrativos (TE) e o poder calorífico superior (PCS) da madeira de *Copaifera arenicola*.

A equação que melhor explicou a correlação foi a polinomial de 2º grau com coeficientes de determinação de 0,26 (TL) e 0,22 (TE). Resultados semelhantes de fraca correlação entre esses componentes também foram encontrados em madeiras de *Eucalyptus* spp. (SANTOS et al., 2016) e em espécies de madeiras do Cerrado (SANTOS et al., 2011).

É possível que a decorrência de baixa influência desses teores ao PCS esteja relacionada à volatilização dos extrativos da madeira ou pelas variações da concentração desses elementos ao longo das posições do fuste, como se nota na variação pelos menores TE a 100% e TL com maior concentração a 50%.

CONCLUSÕES

As variáveis químicas tiveram diferenças significativas ao longo do fuste com destaque ao teor de extrativo diferenciando-se unicamente na posição 100% inferior às demais posições e o teor de ligninas na posição 50% com valor superior às demais posições.

Os teores de lignina (TL) e extrativos (TE) não explicaram sua contribuição direta ao aumento do poder calorífico superior (PCS) de acordo com análise de regressão obtida.

Os resultados obtidos da madeira de *Copaifera arenicola* caracterizam-na com atributos potenciais para o seu uso com fins energéticos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.M.C.D. et al. Avaliação físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (benth.) Ducke e *Amburana cearensis* (Allemao) AC Smith. de ocorrência no semiárido nordestino brasileiro. **Ciência Florestal**, v.25, n.1, p.165-173, 2015.

ALVES, J.J.A. et al. Degradação da caatinga: uma investigação Ecogeográfica. **Caatinga**, v.22, n.3, p.126-135, 2009.

BRAND, M.A. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia **Ciência Florestal**, v.27, n.1, p.117-127, 2017.

BUFALINO L. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro

australiano. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v.32, n.70, p.129-137, 2012.

CASTRO, A.F.N.M. et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.6, p.627-635, 2013.

COSTA, J.A.S.; QUEIROZ, L.P. Lectotypifications and nomenclatural notes in *Copaifera* L. (Leguminosae-Caesalpinioideae-Detarieae). **Kew Bulletin** v.65, p.475-478, 2010.

COSTA, T.G. et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v.20, n.1, p.37-46, 2014.

COUTO, L.C. et al. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, v.1, n.1, p.71-92, 2004.

DEMIRBAS, A. Biomass resource facilities biomass conversion processing for fuels and chemicals. **Energy Conversion Management**, v.42, n.11, p.1357-1378, 2001.

DIAS JÚNIOR, A.F. et al. Desdobramento da função qualidade (QFD) na avaliação da qualidade do carvão vegetal utilizado para cocção de alimentos. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.2, p.262-270, 2015.

FERRAZ, I.D.K. et al. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v.34, n.4, p.621-633, 2004.

GAMA, D.C. et al. Propriedades físicas da madeira de *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz (Caesalpinioideae-Fabaceae). **Re.C.E.E.F**, v.31, n.2, p.60-70, 2018.

GAMA, D.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, J.M.D. *Copaifera arenicola* [(DUCKE) J. COSTA e LP QUEIROZ] Fabaceae-Caesalpinioideae em Regiões do Nordeste da Bahia. **Agroforestalis News**, v.4, n.1, p.1-8, 2019.

GOLDEMBERG, J. Biomass and energy. **Química Nova**, v.32, n.3, p.582-587, 2009.

LIMA JÚNIOR, C. et al. Viabilidade econômica do uso energético de lenha da caatinga sob manejo sustentável. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.1, p.156-166, 2015.

LIMA, N.N. et al. Influência da gramatura na resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dawyer e *Eperua oleifera* Ducke. **Acta amazônica**, v.41, n.1, p.83-90, 2011.

MEDEIROS NETO, P.N.D. et al. 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.

MEDEIROS NETO, P.N.D. et al. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, v.22, n.3, p.579-588, 2012.

MOUTINHO, V.H.P. et al. Propriedades químicas e energéticas de madeiras Amazônicas do segundo ciclo de corte. **Floresta e**

Ambiente, v.23, n.3, p.443-449, 2016.

PAES, J.B. et al. Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro. **Floresta e Ambiência**, v.20, n.4, p.550-555, 2013.

PROTÁSIO, T.P. et al. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v.40, n.95, p.317-326, 2012.

SANTOS, R.C.D. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.39, n.90, p.221-230, 2011.

SANTOS, R.C.D. et al. Effect of properties chemical and siringil/guaiacil relation wood clones of *Eucalyptus* in the production of charcoal. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, p.657-669, 2016.

SANTOS, R.C.D. et al. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, v.23, n.2, p.493-504, 2013.

SILVA, H.F. et al. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v.43, n.108, p.943-953, 2015.

VIDAURRE, G. et al. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.4, p.469-480, 2011.