



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

QUALIDADE ENERGÉTICA DE BIOMASSA PROVENIENTE DE FLORESTA NATIVA SOB MANEJO SUSTENTÁVEL

Reny Aldo Henne¹
Martha Andreia Martha Brand¹
Nayara Bergamo Casagrande¹
Gisele Lopes¹
Guilherme Giesel¹

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina

QUALIDADE ENERGÉTICA DE BIOMASSA PROVENIENTE DE FLORESTA NATIVA SOB MANEJO SUSTENTÁVEL

Reny A. HENNE¹; Martha A. BRAND²; Nayara B. CASAGRANDE¹; Gisele P. R. D. LOPES¹; Guilherme GIESEL¹

¹ Mestrando em Engenharia Florestal, CAV - UDESC, Lages, Santa Catarina, Brasil

² Professora do Departamento de Engenharia Florestal, CAV - UDESC, Lages, Santa Catarina, Brasil

Resumo - Este trabalho teve o objetivo de determinar a qualidade energética da madeira de espécies da caatinga, no sul do Piauí, visando sua utilização sustentável para a geração de energia. A coleta da madeira de espécies pertencentes à formação florestal foi realizada em dois momentos: 30 de maio e 01 de junho de 2007 (final da época de chuva) e entre 22 de outubro e 01 de novembro de 2007 (final da época de secas na região). Foram coletados cinco discos dos troncos e cinco dos galhos de 28 espécies. O teor de umidade de árvores apresentou valores de 28 a 39%. A massa específica básica variou de 0,716 a 0,735 g/cm³. O teor de cinzas foi de 1,53%. O poder calorífico superior foi de 4583 kcal/kg e o poder calorífico líquido foi de 2952 kcal/kg. O teor de umidade da madeira de árvores recém derrubadas esteve próximo do teor de umidade desejado para diferentes processo de conversão energética da biomassa. A massa específica da madeira foi alta, contribuindo para a maior densidade energética da biomassa. O teor de cinzas foi baixo, sendo importante para geração de energia, pois após a queima, gera pouco resíduo. O poder calorífico líquido foi alto em função do baixo teor de umidade da madeira. A época de colheita não influenciou nas variações observadas nas propriedades físicas e energéticas da madeira. A madeira das espécies de caatinga da região sul do Piauí tem potencial para uso energético em diferentes sistemas de conversão da biomassa em energia.

Palavras-chave: madeira, poder calorífico, savana estépica florestada.

ENERGY QUALITY OF BIOMASS FROM NATIVE FOREST WITH SUSTAINABLE MANAGEMENT

Abstract -The objective of this work was to determine the energetic quality of the wood of caatinga species, in the south of Piauí, aiming at its sustainable use for the generation of energy. The collection of wood from species belonging to the forest formation was carried out in two moments: May 30 and June 1, 2007 (end of the rainy season) and between October 22 and November 1, 2007 (end of the dry season in region). Five discs were collected from the trunks and five from the branches of 28 species. The moisture content of trees presented values from 28 to 39%. The basic specific mass ranged from 0.716 to 0.735 g / cm³. The ash content was 1.53%. The gross calorific value was 4583 kcal / kg and the net calorific value was 2952 kcal / kg. The moisture content of the wood of freshly felled trees was close to the desired moisture content for different energy conversion processes of the biomass. The specific mass of the wood was high, contributing to the higher energy density of the biomass. The ash content was low, being important for energy generation, because after burning, it generates little residue. The net calorific value was high due to the low moisture content of the wood. Harvest time did not influence the observed variations in the physical and energetic properties of the wood. The wood of the caatinga species of the southern region of Piauí has potential for energy use in different biomass energy conversion systems.

Keywords: wood, calorific power, savannah woodland.

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga é um mosaico de arbustos espinhosos e de florestas sazonalmente secas, com mais de 2.000 espécies de plantas vasculares, peixes, répteis, anfíbios, aves e mamíferos (Leal et al., 2005). Os mais importantes usos descritos na literatura para as espécies da caatinga são: construção (70,49% das espécies), medicamentos (65,57%) (Santos et al., 2008), e combustível (54,91%) (Francelino et al., 2003; Santos et al., 2008; Ramos et al., 2008, Alvarez, sd). Outra parte da vegetação é usada como pastagem nativa, com os animais consumindo a vegetação herbácea presente na época de chuvas e as folhas de árvores e arbustos que caem ao longo da seca (Schacht et al., 1989).

Enquanto combustível, a lenha pode ser utilizada como fonte energética para indústrias, comércio e domicílios, e como carvão vegetal (Pareyn, 2010). A lenha pode ser a finalidade principal da exploração da caatinga, ou obtida a partir da abertura de áreas para plantio na agricultura itinerante (Schacht et al., 1989). Segundo Sampaio (2010), principalmente nas cercanias dos grandes centros consumidores, a produção de lenha que antes era um subproduto da abertura de atividades agrícolas, passou a ser uma atividade independente.

Porém, apesar do uso intensivo da caatinga como combustível, pouco se sabe sobre as quantidades de biomassa que são retiradas e recicladas nas partes das plantas utilizadas para este fim (Silva; Sampaio, 2008). Assim, a gestão atual da terra na caatinga está se tornando insustentável, porque não existem protocolos adequados para refletir condições locais que assegurem a gestão sustentável dos recursos (Figueirôa et al., 2006).

Por outro lado, segundo Riegelhaupt, Pareyn e Gariglio (2010), a caatinga é uma das florestas secas com melhores condições para se inserir no futuro mercado mundial de energéticos florestais por vários motivos, entre eles: o bioma está localizado muito próximo do Atlântico Central, a curtas distâncias dos maiores polos mundiais consumidores de energéticos; a região da caatinga tem densidade populacional relativamente alta e boa infraestrutura viária, portuária e de comunicações; a sustentabilidade da produção está bem demonstrada e seus impactos ambientais são mínimos; 10% da área poderia estar disponível para manejo, podendo fornecer uma produção sustentável três a quatro vezes maior que a demanda atual, oferecendo assim um *superavit* considerável.

Além disso, conforme a Lei nº 11.284 (Brasil, 2006), é possível viabilizar a exploração florestal em grandes extensões, criando atividades rentáveis para as populações locais e garantindo a gestão sustentável dos recursos. Através da gestão concessionária seria possível a incorporação de grandes áreas florestais para a produção, em escala industrial, de lenha e carvão vegetal, tanto no oeste da Bahia como no sul do Piauí.

Neste sentido, os estudos que determinem o potencial energético das espécies e da vegetação como um todo são fundamentais para subsidiar decisões no campo de uso sustentável da formação florestal caatinga para a geração de energia. Portanto, este trabalho teve o objetivo de determinar a qualidade energética da biomassa produzida na caatinga do sul do Piauí, visando sua utilização sustentável para a geração de energia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em um empreendimento privado, denominado Condomínio Fazenda Chapada do Gurguéia, no sul do Piauí. O condomínio pertence a dois municípios: Redenção do Gurguéia e Morro Cabeça no Tempo, cujas sedes se localizam respectivamente a noroeste e a sudeste da sede da propriedade (9°29'03" e 9°53'16" Latitude Sul, 43°51'35" e 44°25'13" Longitude Oeste) (Toniolo et al., 2005) (Figura 1).

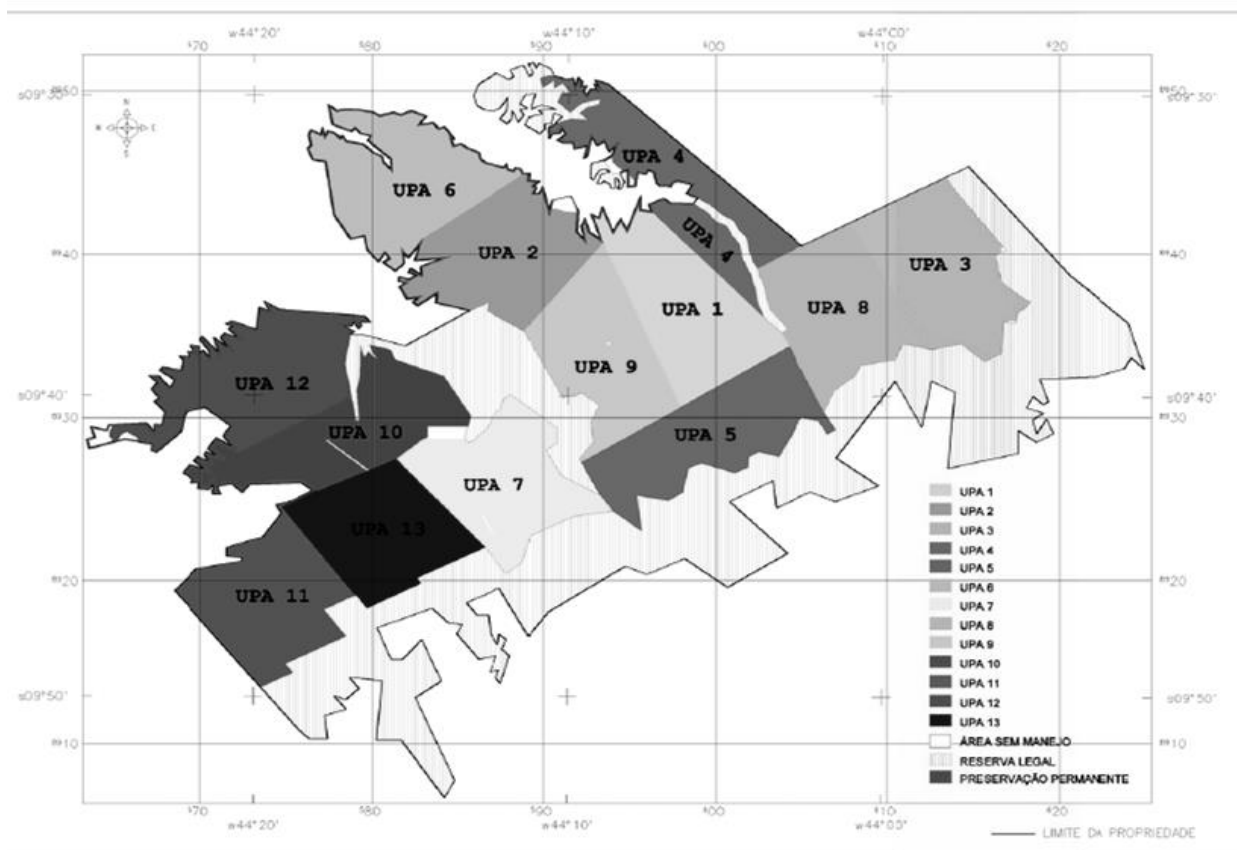


Figura 1. Área do projeto de Manejo Sustentável da Caatinga - Condomínio Fazenda Chapada do Gurguéia, na região sul do Piauí (Toniolo et al., 2005).

Segundo Toniolo et al. (2005), o empreendimento tem área total de 114.755 ha, localizada no topo plano de uma chapada sedimentar arenítica (Serra Vermelha). A área do condomínio situa-se integralmente na Grande Unidade de Paisagem das Chapadas Intermediárias e na Unidade Geoambiental das Chapadas do Extremo Sul do Piauí (B2), segundo o Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil.

A região situa-se na transição de Tropical Semi-Árido para Tropical Sub-Úmido Seco. A estação seca é do mês de maio a outubro e a chuvosa é de novembro a abril, com precipitação média anual de 850 mm, beneficiando-se, ainda, durante a estação seca, por abundante orvalho e pelas “neblinas”. As temperaturas máximas variam de 29,4 °C em fevereiro a 36 °C no mês de setembro. A umidade do ar apresenta médias mensais variando de 43 % no mês de agosto (mais baixa) a 80 % no mês de janeiro (Toniolo et al., 2005).

A vegetação existente dentro do empreendimento pode ser denominada fitogeograficamente como Savana Estépica Florestada (caatinga), segundo a classificação do IBGE (1992) constituída por indivíduos micro e ou nanofanerófitos, com média de 5 m, excepcionalmente ultrapassando os 7 m de altura, mais ou menos densos, com grossos troncos e esgalhamento bastante ramificado, em geral providos de espinhos ou acúleos, com total descidualidade na época desfavorável (IBGE, 1992).

Quanto ao levantamento florístico foram identificadas 66 espécies na formação florestal. A vegetação tem 19 espécies com maior abundância, que representam 76% da diversidade. As espécies de maior ocorrência foram: goiaba brava (*Eugenia sp.*), João mole (*Pisonia sp.*), canela de velho (*Cenostigma gardnerianum*), marmela (*Desmodium discolor*), açoita cavalo (*Luehea sp.*), figueirinha da caatinga (não identificada) e pau de casca (não

identificada). A vegetação apresenta diversidade florística alta para um bioma com restrição forte ao crescimento como a deficiência hídrica (Toniolo et al., 2005).

Quanto à quantidade de biomassa para geração de energia produzida na área de estudo, o estoque médio de lenha estimado foi em torno de 150 m³/ha ou 400 st/ha, com produção de biomassa média de 170 t de biomassa úmida/ha. A vegetação apresentou ainda altura média de 5,6 m, com 4205 árvores/ha. A floresta tem densidade populacional alta, com predominância de indivíduos com diâmetro pequeno (52% da população entre 2 a 5 cm de diâmetro). A maior quantidade de biomassa está concentrada nas classes diamétricas superiores a 10 cm (84% do total de biomassa úmida disponível para geração de energia) (Toniolo et al., 2005).

2.2 Determinação da qualidade energética da biomassa da caatinga

A coleta da madeira de espécies pertencentes à formação florestal em estudo foi realizada em dois momentos. A primeira coleta foi realizada entre os dias 30 de maio e 01 de junho de 2007 (final da época de chuva) e entre 22 de outubro e 01 de novembro de 2007 (final da época de secas na região).

A primeira coleta foi realizada para reconhecimento da área e realização de análises preliminares do potencial da biomassa para geração de energia. Na oportunidade foram coletadas oito espécies (Tabela 1) selecionadas com base na abundância de suas ocorrências na vegetação. A abundância foi determinada a partir de informações obtidas com mateiros da região e avaliação do trabalho realizado por Toniolo et al. (2005) que indicava que dentre as 66 espécies presentes na vegetação, estas oito estavam entre as 29 mais abundantes.

Foi derrubada uma árvore de cada espécie da qual foram retirados cinco discos em diferentes alturas do tronco e cinco discos nos galhos para compor as amostras da análise laboratorial. As árvores foram selecionadas aleatoriamente dentro da área do projeto.

Na segunda atividade de campo foram demarcadas duas parcelas de 20 x 20 m, ao lado de parcelas permanentes do inventário florestal realizado por Toniolo et al. (2005), onde todas as árvores foram cortadas, coletadas excicatas para posterior confirmação da identificação das espécies e coletados cinco discos em diferentes alturas do tronco e cinco discos dos galhos de cada espécie componente da parcela. Desta forma, foi coletada a madeira de 28 espécies, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Espécies coletadas para a análise da qualidade energética da madeira, em formação florestal caatinga, no sul do Piauí

Coleta 1	Participação dos indivíduos em relação à população (%)	Coleta 2	Participação dos indivíduos em relação à população (%)
-	-	Açoita Cavalo (<i>Luehea sp.</i>)	-
-	-	Alecrim da Caatinga (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	2,02 (19 ^a espécie em abundância)
-	-	Ameixa preta (<i>Ximenia sp.</i>)	-
-	-	Banha de Galinha (<i>Swartzia psilonema</i>)	1,09 (29 ^a espécie em abundância)
-	-	Birro (<i>Centrolobium sp. vel gen. aff.</i>)	1,70

-	-	Borrachinha (não identificada)	(24ª espécie em abundância)
-	-	Camaçari (<i>Terminalia fagifolia</i>)	-
Canela de velho (<i>Cenostigma gardnerianum</i> Tul.),	6,26 (3ª espécie em abundância)	Canela de velho (<i>Cenostigma gardnerianum</i>)	6,26 (3ª espécie em abundância)
-	-	Cangalheiro (<i>Pterodon polygalaeflorus</i>)	-
-	-	Capinã (não identificada)	-
-	-	Catuaba (<i>Erythroxylum vaccinifolium</i> sp.)	3,11 (13ª espécie em abundância)
-	-	Coração Negro (<i>Zollernia paraenses</i>)	-
-	-	Figueirinha (não identificada)	-
-	-	Folha miúda brava (não identificada)	-
Goiabinha ou goiaba brava (<i>Eugenia</i> sp.)	1,76 (22ª espécie em abundância)	Goiaba brava (<i>Eugenia</i> sp.)	1,76 (22ª espécie em abundância)
Jatobá (<i>Hymenaea eriogyne</i> Benth)	2,68 (15ª espécie em abundância)	Jatobá (<i>Hymenaea eriogyne</i> Benth)	2,68 (15ª espécie em abundância)
-	-	João Mole (<i>Pisonia</i> sp.)	4,86 (6ª espécie em abundância)
-	-	Marmela (<i>Desmodium discolor</i>)	4,88 (5ª espécie em abundância)
-	-	Miroró ou mororó (<i>Bauhinia</i> sp.)	2,93 (14ª espécie em abundância)
Pau d'óleo (<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.),	1,78 (21ª espécie em abundância)	Pau D'Óleo (<i>Copaifera langsdorffii</i>)	1,78 (21ª espécie em abundância)
-	-	Pau de casca (não identificada)	-
-	-	Pau de ferro (não identificada)	-
-	-	Penico não identificada)	-
Pereiro ou pau pereira (<i>Aspidosperma pyricollum</i> Muell. Arg.)	2,34 (16ª espécie em abundância)	Pereiro (<i>Aspidosperma pyricollum</i>)	2,34 (16ª espécie em abundância)
Quipé (<i>Piptadenia moniliformis</i>)	-	Quipé (<i>Piptadenia moniliformis</i>)	-
-	-	Unha de Gato (<i>Mimosa malacocentra</i>)	3,23 (12ª espécie em abundância)

Vaqueta (não identificada)	1,61 (25ª espécies em abundância)	Vaqueta (não identificada)	1,61 (25ª espécies em abundância)
Violete (<i>Peltogyne sp.</i>)	-	Violete (<i>Peltogyne sp.</i>)	-

Nota: A participação percentual dos indivíduos em relação ao número total de árvores amostradas em 30 parcelas foi adaptado de Toniolo et al. (2005). Nas células que contém hífen (-) a espécie não foi coletada e/ou a participação dos indivíduos em relação à população (%) não foi determinada.

Em todas as coletas, os discos foram acondicionados em recipientes plásticos fechados, identificados e enviados para o laboratório. Em três discos do tronco de cada espécie foi determinada a massa específica básica, conforme NBR 11491 (ABNT, 2003a). Após a moagem dos discos em picador de facas e de martelo e preparação das amostras de serragem que passaram pela peneira de 40 e ficaram retidas na peneira de 60 mesh foram realizadas as análises físicas e energéticas. As propriedades determinadas foram: teor de umidade na base úmida, conforme NBR 14929 (ABNT, 2003c); teor de cinzas (525° C), conforme NBR 13999 (ABNT, 2003b) e o poder calorífico superior em calorímetro, conforme a norma DIN 51900 (DIN, 2000). O poder calorífico líquido foi calculado no calorímetro a partir do poder calorífico superior medido e com base na inclusão dos dados de teor de umidade e teor de cinzas no equipamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos para as propriedades físicas e energéticas das espécies coletadas no estudo.

Tabela 2. Propriedades físicas e energéticas da madeira de espécies florestais presentes na formação caatinga, do sul do Piauí

Espécie	TU (C 1)	TU (C 2)	MEB (C 1)	MEB (C 2)	TC (C 1)	TC (C 2)	PCS (C 1)	PCS (C 2)	PCL
Açoita Cavalo (<i>Luehea sp.</i>)		29		0,738		1,22		4836	2991
Alecrim da Caatinga (<i>Rosmarinus officinalis</i>)		28				2,21		4429	2754
Ameixa preta (<i>Ximenia sp.</i>)		22		0,787		1,71		4863	3421
Banha de Galinha (<i>Swartzia psilonema</i>)		26		0,757		1,37		4460	2917
Birro (<i>Centrolobium sp.</i> vel gen. aff.)		29		0,771		1,01			
Borrachinha (não identificada)		27		0,759		0,63			

Camaçari (<i>Terminalia fagifolia</i>)		25		0,691		2,35		4705	3098
Canela de velho (<i>Cenostigma gardnerianum</i>)	15	18	0,827	0,800	0,78	1,50	4781	4795	3571
Cangalheiro (<i>Pterodon polygalaeflorus</i>)		30		0,764		1,34		4709	2903
Capinã (não identificada)		29		0,715		1,68		4513	2861
Catuaba (<i>Erythroxylum vacciniifolium</i>)		34		0,800		1,49		4497	2564
Coração Negro (<i>Zollernia paraenses</i>)		27		0,726		0,88		4690	3034
Figueirinha (não identificada)		35		0,550		2,17		4637	2607
Folha miúda brava (não identificada)		29		0,688		0,34		4774	2999
Goiaba brava (<i>Eugenia sp.</i>)	31	29	0,671	0,707	1,08	0,97	4754	4599	3215
Jatobá (<i>Hymenaea eriogyne</i> Benth)	28	33	0,833	0,703	1,33	2,24	4719		3109
João Mole (<i>Pisonia sp.</i>)		23				1,07		4392	2961
Marmela (<i>Desmodium discolor</i>)		26		0,793		1,36		4695	3042
Miroró (<i>Bauhinia sp.</i>)		22		0,733		0,99		4733	3320
Pau D'Óleo (<i>Copaifera langsdorfii</i>)	35	36	0,744	0,649	2,1	1,75	4609	4633	2653
Pau de casca (não identificada)		24		0,771		1,72		4671	3172
Pau de ferro (não identificada)		29		0,767		2,13			

Penico (não identificada)	30		0,667		0,92		3010	1698	
Pereiro (<i>Aspidosperma pyricollum</i>)	30	27	0,571	0,798	2,09	1,80	4742	4798	2876
Quipé (<i>Piptadenia moniliformis</i>)	34	27	0,653			1,26		4906	3196
Unha de Gato (<i>Mimosa malacocentra</i>)		23		0,778		2,43		4502	3044
Vaqueta (não identificada)	26	24	0,681	0,757	2,18	1,30	4603	4490	3034
Violete (<i>Peltogyne sp.</i>)	34	30	0,75	0,695		2,88		4652	2764
Média das espécies	29	28	0,716	0,735	1,59	1,53	4701	4583	2952
Mínimo	15	18	0,571	0,550	0,78	0,34	4603	3010	1698
Máximo	35	36	0,833	0,800	2,18	2,88	4781	4906	3571
Desvio padrão	6,47	4,04	0,090	0,058	0,61	0,60	77	364	355

Nota: TU (teor de umidade na base úmida; MEB (massa específica básica); TC (teor de cinzas); PCS (poder calorífico superior); PCL (poder calorífico líquido calculado a partir do poder calorífico superior e do teor de umidade da biomassa); C 1 (coleta 1 – maio); C 2 (coleta 2 – outubro)

O teor de umidade da biomassa foi baixo, principalmente considerando que as árvores haviam sido recém cortadas, independentemente da época de colheita. A variação na umidade da madeira das espécies coletadas nas épocas de chuva e seca foi pequena, demonstrando que a biomassa mantém teores de umidade baixos durante todo o ano.

Segundo Brand (2010) teores de umidade abaixo de 30% são os requeridos para a geração de energia e representam um poder calorífico líquido em torno de 3000 kcal/kg de combustível. A umidade é uma variável muito importante para o aproveitamento energético da biomassa, pois é a que mais influencia no poder calorífico, inclusive mais que a espécie, visto que a presença de água tem relação com o poder calorífico do combustível de modo inversamente proporcional. Quanto maior o teor de umidade, menor será a quantidade de energia útil para o sistema de geração de energia (o calor latente de evaporação é perdido com os gases de combustão).

A umidade dificulta a queima do combustível, pois além da redução do poder calorífico, ocorre aumento do consumo do combustível, do volume de produtos de combustão, das perdas de calor com gases de escape, da potência necessária do exaustor (aspirador de fumaça) e o custo de transporte. Além disso, grande teor de umidade provoca aceleração de corrosão da parte final do gerador de vapor e o acúmulo de sujeira nas superfícies de aquecimento (Brand, 2010).

Somente como parâmetro de comparação, espécies com Eucalipto, podem requerer até 4 meses para alcançar o teor de umidade observado para as espécies acima mencionadas no estado recém colhido (Brand, 2013).

Dentre as espécies coletadas, a canela de velho foi a que apresentou menor teor de umidade, em ambas as épocas de colheita, característica já observada no momento da coleta. A espécie com maior teor de umidade foi o pau d'óleo, que também independente da época de colheita apresentou maior umidade na madeira.

A massa específica básica média das espécies da vegetação avaliada variou de 0,716 a 0,735 g/cm³ nas duas épocas de colheita, indicando que as espécies podem ser consideradas pesadas, segundo classificação adotada pelo Laboratório de Produtos Florestais (IBAMA, 2013) que considera espécies com massa específica básica acima de 0,72 g/cm³ pesadas. As espécies com maior massa específica básica foram o jatobá e a canela de velho e as de menores valores foram a figueirinha e o pereiro ou pau pereira.

A massa específica básica representa a quantidade de massa seca em relação ao volume saturado da madeira (ABNT, 2003a). Considerando o estudo da potencialidade energética da madeira, a densidade básica é considerada um índice de qualidade importante, pois, quanto maior a densidade da madeira, maior será seu desempenho energético, seja na queima direta ou em processos de transformação. Assim, maior será a massa por volume a ser convertida em energia. Também algumas vantagens são observadas no produto originado dos processos de transformação, como é o caso do carvão vegetal originado de madeiras mais densas, o qual possui, de modo geral, maior resistência mecânica, entre outras vantagens (Cavalcante dos Santos et al., 2013).

A alta massa específica das espécies componentes da caatinga; a presença de cristais de oxalato de cálcio na madeira devido à sua constituição anatômica; os sulcos profundos do caule de algumas espécies (exemplo: canela-de-velho (*Cenostigma gardnerianum* (Tul.)) e as árvores ocas que normalmente têm cupinzeiros em seu interior requerem projeto e dimensionamento adequado dos picadores florestais e industriais (Brand, 2017).

Esta propriedade física está diretamente relacionada à maior dureza da madeira, refletindo em maior desgaste das ferramentas de corte e necessidade de uso de metais mais duros para sua fabricação. Da mesma forma, a presença de cristais e a terra e areia dos cupinzeiros contribuem para o desgaste prematuro das ferramentas e os sulcos dos troncos para menor uniformidade dos cavacos produzidos (Brand, 2017).

O teor de cinzas tanto das espécies individualmente como das amostras compostas pela mistura de diferentes espécies foi baixo. Para a geração de energia isso é excelente, pois representa pequena quantidade de resíduos após a queima da biomassa em sistemas de geração de energia.

No entanto, se deve considerar que a coleta foi experimental, realizada manualmente e com cuidado. Portanto, este teor de cinzas representa efetivamente os minerais presentes na madeira. Em sistemas produtivos de biomassa para a geração de energia as operações de corte, transporte, manuseio, estocagem promovem a contaminação da madeira com pedras, terra areia e outros contaminantes que aumentam o teor de cinzas. Assim, o teor de cinzas é variável com o sistema de tratamento da biomassa empregado.

O poder calorífico superior observado para as espécies analisadas variou de 3010 (Penico) a 4906 kcal/kg (Quipé) e está dentro dos valores normalmente obtidos para a madeira, que no trabalho de Quirino et al. (2004) variou de 3831 a 5263 kcal/kg, quando este autor analisou 258 espécies florestais.

Com relação ao poder calorífico líquido obtido a partir do poder calorífico superior, descontando-se a energia necessária para a evaporação da água livre contida na madeira, considerando que esta seria utilizada logo após a colheita, os valores obtidos são altos. Os valores para as espécies individuais variaram de 1698 kcal/kg a 3571 kcal/kg. O menor valor

foi em função do baixo poder calorífico superior registrado para a espécie penico, enquanto o maior valor foi em função do baixo teor de umidade da canela de velho (15 a 18%).

Plantas de geração de energia que utilizam biomassa madeira) normalmente operam com poder calorífico inferior a partir de 1550 kcal/kg, pois utilizam biomassa com teores de umidade próximos de 50% (Brand et al. 2014). Portanto, o fato da biomassa da caatinga apresentar poder calorífico líquido médio de 2952 kcal/kg, significa mais de 1400 kcal de ganho energético para cada quilo de biomassa utilizada em sistemas de geração de energia, como termelétricas, por exemplo.

Portanto, de forma geral a biomassa produzida pela madeira oriunda das espécies da caatinga do sul do Piauí tem excelente qualidade energética para uso em sistemas de geração de energia, como termelétricas, por exemplo. Os resultados obtidos neste trabalho concordam com a afirmação feita por Alvarez (sd), que concluiu que a lenha produzida por algumas espécies da região Nordeste do Brasil é de alta qualidade e representa a fonte primária de energia para muitas famílias no preparo de alimentos e para boa parte do setor industrial/comercial da região.

4. CONCLUSÕES

- O teor de umidade da madeira de árvores recém derrubadas esteve próximo do teor de umidade desejado para diferentes processo de conversão energética da biomassa florestal.
- A massa específica da madeira das espécies foi alta, contribuindo para a maior densidade energética da biomassa.
- O teor de cinzas foi baixo, sendo importante para geração de energia, pois após a queima, a quantidade de resíduos gerados é pequena.
- O poder calorífico superior da madeira é compatível com outras espécies arbóreas e o poder calorífico líquido foi alto em função do baixo teor de umidade da madeira.
- A época de colheita não influenciou nas variações observadas nas propriedades físicas e energéticas da madeira.
- A madeira das espécies de caatinga da região sul do Piauí tem potencial para uso energético em diferentes sistemas de conversão da biomassa em energia.

5. AGRADECIMENTOS

Artigo componente do projeto de pesquisa “Análise da potencialidade de uso de biomassa oriunda de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia” (ANEEL 0403-001/2007), ciclo 2006-2007. Empresas e instituições participantes: Universidade do Planalto Catarinense; Tractebel Energia S.A.; JB Carbon S.A

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA, A. R. DE OLIVEIRA, V. M. DO N., GARRIDO, M. A. Potencial energético de área conservada de caatinga em Petrolina – PE. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/157736/1/OPB2315.pdf>> Acesso em: 10 mai. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação da Densidade Básica. NBR 11491. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13999: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003c.

BRAND, M. A. Influência da espécie na qualidade da biomassa florestal sob estocagem, para geração de energia. *Ambiência*, v.9, n.3, p. 461-474, 2013.

BRAND, M.A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

BRAND, M.A. et al. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. *Revista Árvore*, v. 38, n. 2, 2014.

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.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável. Brasília. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/legislacao/legislacao-1/leis-ordinarias/legislacao-1/leis-ordinarias/2006#content>> Acesso em: 17 mai. 2012.

CAVALCANTE DOS SANTOS, R 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, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V. DIN 51900: Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlin, 2000.

FIGUEIRÔA, J. M. et al. Effects of cutting regimes in the dry and wet season on survival and sprouting of woody species from the semi-arid caatinga of northeast Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 229, p. 294-303, 2006.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, LEITE, H. G. Contribuição da caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão Norte-Rio-Grandense. *Árvore*, Viçosa, v.27, n.1, p.79-86, 2003.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de Vegetação brasileira. Rio de Janeiro. 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Banco de dados das madeiras brasileiras. Brasília. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/pesquisa.php?idioma=portugues>>. Acesso em: 21 jun. 2013.

LEAL, I. R. et al.. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Megadiversidade*, [S.l.], v. 1, n. 1, julho, 2005.

PAREYN, F. G. C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de pernambuco – O papel do Manejo Florestal Sustentável. In: GARIGLIO, M. A.[et al.], organizadores. *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p 99-112.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. *Biomassa & Energia*, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

RAMOS, M. A et al. Use and knowledge of fuelwood in an area of Caatinga vegetation in NE Brazil. *Biomass and Bioenergy*, [S.l.], v.32, p. 510–517, 2008.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C.; GARIGLIO, M. A. O manejo florestal como ferramenta para o uso sustentável e conservação da caatinga. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 349-367.

SAMPAIO, E. V. DE S. B. Caracterização do bioma caatinga – Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A.[et al.], organizadores. *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p 29-42.

SANTOS, J.P., ARAÚJO, E.L., ALBUQUERQUE, U.P. Richness and distribution of useful woody plants in the semi-arid region of northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, [S.l.], v. 72, p 652–663, 2008.

SCHACHT, W. H. et al. Response of caatinga vegetation to decreasing levels of canopy cover. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [S.l.], v. 24, n. 11, p. 1421-1426, 1989.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. *Árvore*, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008.

TONIOLO, E.R. LEAL JUNIOR, G., CAMPELLO, R.C.B. Plano de Manejo Florestal Integrado Sustentável – Projeto Energia Verde. Plano de Manejo Florestal sustentável. Redenção do Gurguéia, Piauí. 2005. 66 p.