

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DA EXPLORAÇÃO SUSTENTÁVEL DE MADEIRA NO SEMIÁRIO POTIGUAR

Lucas Jean Nunes, Ana Luiza da Silva Lopes, Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Renato Vinícius Oliveira Castro, Rosimeire Cavalcante dos Santos

(Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias UFRN/UAECIA. e-mail: lucasjeansnunes@gmail.com)

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo caracterizar o potencial de utilização de resíduos de *Comiphora leptophloeos* (imburana-de-espinho) provenientes da exploração florestal do Plano de Manejo Florestal Sustentado, na produção dos *pellets*. Para tanto, foram realizadas análises de densidade a granel, poder calorífico superior e teor de cinzas dos resíduos. Os *pellets* foram produzidos em teor de umidade de 6%, em base seca da biomassa, sob a temperatura de 95 °C. E, posteriormente avaliados de acordo com a umidade de equilíbrio higroscópico, densidade a granel, o poder calorífico superior, o teor de cinzas, o diâmetro e comprimento, a durabilidade mecânica e produção de “finos”, sendo assim, essas características foram comparadas com a norma ISO 17225-2 para *pellets* para madeira. Foram realizadas estatísticas descritivas (tendência central e dispersão) para as variáveis analisadas a fim de avaliar a qualidade dos *pellets*. Especificamente, com média e desvio padrão. De modo geral, as partículas de imburana com 6% de umidade proporcionaram uma produção de *pellets* com boas propriedades físicas, químicas e mecânicas, atendendo maior parte dos parâmetros exigidos pela norma de peletização, exceto ao padrão de durabilidade mecânica do *pellet*. Conclui-se que os resíduos de *C. leptophloeos* apresentam potencial para produção de *pellets*, uma vez que atendem às exigências da norma ISO 17225-2 para *pellets* de madeira, exceto para a durabilidade mecânica. Recomenda-se, portanto, outros estudos com parâmetros que influenciam sob a referida propriedade.

Palavras-chave: Biocombustível sólido; biomassa; densidade energética.

Abstract: The aim of this study was to characterize the potential use of *Commiphora leptophloeos* (imburana-de-espinho) residues from logging of a sustainable forest management in the production of pellets. Therefore, it was performed analysis of bulk density, high heat value and ash content of the residues. The pellets was produced in a 6% water content in biomass dry weight, under temperature of 95°C. Then, the pellets were evaluated according to hygroscopic equilibrium moisture, bulk density, high heat value, ash content, diameter and length, mechanic durability and “fines” production. Thus, these characters were compared to the ISO 17225-2 standard for wood pellets. Descriptive statics were performed (central tendency and dispersion) for all the characteristics to evaluate the pellets quality, specifically the mean and standard deviation. Generally, the particles of *C. leptophloeos* with moisture of 6% provided a production of pellets showing great physical, chemical, and mechanic properties, complying most of the required parameters from pelleting standard, except the mechanic durability of the pellet. It was concluded that the *C. leptophloeos* residues showed a potential to pellet production, once they comply most of the requirements of ISO 17225-2 standard to wood pellets, except mechanic durability. Further studies is recommended using parameters that has an influence over the property above mentioned.

Key words: Solid biofuel; biomass; energy density.

INTRODUÇÃO

A procura por novos combustíveis que cumpram uma urgência no melhor uso dos recursos e compitam de frente diante das atuais fontes de energia, conduzem a biomassa ao centro das pesquisas mundiais sendo apontada como uma das principais alternativas para diversificação da matriz energética e uma menor subordinação aos produtos fósseis, vinculados ao aquecimento global (Júnior, 2013).

Segundo Couto *et al.* (2004), em todas as fases da cadeia produtiva florestal, é observado a geração de resíduos, que devido a sua grande quantidade totaliza em um passivo ambiental tornando, assim, muito interessante a conversão desses resíduos em energia. No entanto, mesmo que os resíduos apresentem um grande potencial energético, acabam, naturalmente, não sendo utilizados devido à grande diversidade de produtos oferecidos pelas florestas em consequência dos sistemas de exploração (Brand *et al.*, 2009).

Uma pesquisa feita pelo IBGE (2016), demonstrou que no ano de 2011, foram produzidos cerca de 30 milhões de estéreos de madeira no Nordeste. Sabe-se que as principais destinações da lenha extraída para produção de energia são as cerâmicas, caieiras, queijeiras, panificadoras, casas de farinha, olaria, carvoarias, unidades de fabricação de biscoitos caseiros, docerias, alambique, engenhos, mineração, indústrias de torrefação, têxtil, margarina e sabão (Agência de Desenvolvimento Sustentável do Seridó, 2008). No Rio Grande do Norte, tendo como exemplo, a necessidade por carvão vegetal e lenha refletiam 53,4% no setor residencial e 47,4% da demanda integral do campo industrial (SEDEC, 2006).

Ao se observar a veracidade da matriz energética do Brasil e contexto dos domínios industriais, domésticos e mercatório da região do Estado do Rio grande do Norte, fica evidente a instância de introdução de pesquisas em relação aos usos da lenha para formação de energia, tanto quanto sobre os métodos de conversão termoquímica da madeira e principalmente na utilização dos resíduos vindos da exploração florestal, dando maior coerência no uso da lenha (SANTOS *et al.*, 2011). Além disso, as espécies encontradas no semiárido brasileiro, possuem como característica os troncos tortuosos e bifurcados, gerando na colheita demasiada quantia de resíduos e normalmente muita variação na faixa de densidade do lenho.

Em consequência disso, faz-se necessário, intensificar discussões sobre a modernização do uso da biomassa, obtida através de processos que intensificam a capacidade energética dessa fonte. Dentre os produtos, a produção de *pellets* apresenta-se como uma forma atual para obtenção de energia da biomassa

por meio do aproveitamento de resíduos da exploração florestal.

Os *pellets* produzidos pela biomassa florestal podem ser descritos como pequenas esferas cilíndricas ou blocos, densos e compactados, usados na formação de energia em forma de eletricidade ou calor (Dias *et al.* 2012; Garcia *et al.* 2013). A peletização proporciona uma série de vantagens em relação à queima direta da madeira, como: armazenamento, manuseio, aumento da densidade, poder calorífico, facilidade de transporte, padronização do material e redução substancial da ação poluidora (Loução, 2008).

Entende-se que as técnicas de modernização de utilização da biomassa, como fonte de energia, ao serem aplicadas, ocasionam acréscimo na eficiência energética, através do aproveitamento dos resíduos, amparando o meio ambiente e criando novas alternativas de economia. A necessidade de se promover novas fontes de energia tendo a biomassa como material, está relacionada diretamente à demanda de madeira e à pressão na Caatinga. Diante disso, este trabalho teve como objetivo caracterizar o potencial de utilização de resíduos de *C. leptophloeos* (imburana-de-cheiro) provenientes da exploração florestal do Plano de Manejo Florestal Sustentado na produção dos *pellets*.

METODOLOGIA

Resíduos

Para a produção dos *pellets*, utilizou-se resíduos de *C. leptophloeos* provenientes da exploração florestal do Plano de Manejo Florestal Sustentado da Fazenda Milhã/Poço da Pedra que compreende uma área de 1.834,56 hectares (ha), sendo que destes, 1.132,00 hectares de caatinga hiperxerófila, estão divididas em 15 talhões em um ciclo de corte de 15 (quinze) anos, com um rendimento lenhoso médio de 191,54 st/ha, com previsão de término do projeto para o ano de 2019 (CARVALHO, 2003). O imóvel está situado nos municípios de Jardim de Angicos e João Câmara, região Agreste, na microrregião de Serra Verde, norte e leste do Estado do Rio Grande do Norte, situado nas coordenadas geográficas 5°37'15.8"S 35°53'53.9"W. Clima da região, segundo Classificação de Koppen, é do tipo As', ou seja, clima tropical chuvoso com verão seco a estação chuvosa se adianta para o outono. Segundo Gausen, é do tipo 3bTh, Mediterrâneo quente ou Nordestino de seca média com índice xerotérmico variando de 100 a 150 com 5 a 6 meses secos. A temperatura média anual encontra-se em torno de 26 °C, com amplitude de 7 °C. A umidade relativa do ar oscila entre 50 a 80%.

Com relação à vegetação na região, segundo mapeamento da cobertura florestal, projeto PNUD/IBAMA, a mesma pode ser classificada como sendo caatinga arbustiva arbórea fechada (tipo 3), apresenta um porte médio de 3 a 5 m de altura, com alto grau de cobertura dos solos com presença de sub-bosque. Entre as espécies mais comuns, de acordo com o inventário da área (CARVALHO, 2003) tem-se: catingueira, imburana, João mole, jurema branca, jurema preta, marmeleiro, mofumbo, pereiro, quixabeira, sabiá etc.

Os resíduos utilizados são oriundos do talhão 3, com avançado grau de exploração. Na área em questão, constatou-se a existência de quatro indivíduos de *C. leptophloeos*, destes, dois foram extraídos para a presente pesquisa. O diâmetro mínimo usado no Plano de Manejo Florestal na fazenda para extração de madeira, foi de 1,5 cm de DAP. Portanto, foram considerados resíduos de imburana, todas frações de lenha da árvore abaixo dessa medida, sendo assim coletados somente os galhos (abaixo de 1,5 cm de diâmetro), o que gerou um total de 25,0 kg de resíduos de imburana para avaliação das características físicas e químicas da madeira e para confecção dos *pellets*. A madeira foi previamente transformada em maravalha utilizando uma plaina. Depois, a madeira foi seca ao ar livre até atingir a umidade de aproximadamente 20% para posterior moagem em moinho de martelo. As partículas foram classificadas em peneiras sobrepostas, recolhendo-se a fração que passou pela peneira de 3 mm e ficou retida na de 0,5 mm.

Produção dos *pellets*

As partículas foram secas em estufa de circulação forçada à 103 ± 2 °C até atingirem aproximadamente 6% de umidade em base seca.

Os *pellets* foram produzidos em uma prensa peletizadora laboratorial da marca Amandus Kahl, modelo 14-175 com capacidade para produção de 30 kg.h⁻¹. A matriz de peletização possui orifícios com comprimento de 30,0 mm e diâmetro de 7,5 mm na entrada e 6,3 mm na saída, a faca que define o tamanho dos *pellets* está à 20 mm da matriz. A temperatura média de peletização variou em torno de 106 °C. Para atingir essa temperatura em menor tempo, a matriz de peletização foi pré-aquecida em óleo à 200 °C por, aproximadamente, 30 minutos para posterior montagem na prensa, minimizando o uso de partículas para o aquecimento. Para alimentação da peletizadora, utilizou-se um sistema composto por um motoredutor, um controlador de velocidade e uma rosca sem fim. Para produção de *pellets* com melhores propriedades mecânicas foram instalados, ao longo da rosca sem fim, quatro bicos de injeção de vapor produzido por uma autoclave.

Propriedades dos resíduos e dos *pellets*

A determinação do teor de umidade dos resíduos e *pellets* em base seca foi feita de acordo com a norma EN 14774-2 (DIN, 2009). Para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico, os *pellets* foram colocadas em uma câmara climática a 20 °C e 65% de umidade relativa até atingir massa constante.

A densidade a granel (kg/m^3) dos resíduos e *pellets* foi obtida de acordo com a norma EN 15103 (DIN, 2010b), em amostras condicionadas a 65% de umidade relativa e 20 °C de temperatura. A densidade relativa aparente (kg/m^3) dos *pellets* foi determinada conforme o método descrito por VITAL (1984), por meio da imersão em mercúrio.

O diâmetro (mm) e comprimento (mm) dos *pellets* foram obtidos seguindo a norma EN 16127 (DIN, 2012). A durabilidade mecânica e a porcentagem de finos dos *pellets* foram determinadas utilizando o equipamento Ligno-Tester, de acordo com a norma EN 15210-1 (DIN, 2010c). A determinação da dureza (kg) foi feita em um Durômetro para *pellets* da marca Amandus Kahl.

Para determinação do poder calorífico superior e teor de cinzas, as amostras foram transformadas em serragem, utilizando-se um moinho de facas, de acordo com a norma *Technical Association of the Pulp and Paper Industry - TAPPI 257 cm-85* (TAPPI, 1985). Utilizou-se a fração serragem que passou pela peneira com malha de 40 *mesh* e ficou retida na peneira com malha de 60 *mesh*.

O teor de cinzas das partículas foi determinado de acordo com a norma NBR 8112 (ABNT, 1986). O poder calorífico superior das partículas foi obtido de acordo com a norma da EN 14918 (DIN, 2010c).

Posteriormente foi estimado pela Equação 1 o poder calorífico inferior em MJ/kcal. O valor do hidrogênio nas Equações 1, foi estimado pelo trabalho de SANTOS (2013), em um estudo da biomassa da *Commiphora Leptophloeos* para energia.

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 600 \cdot 9\text{H} / 100 \quad (1)$$

Sendo:

PCI (kcal/kg) = poder calorífico inferior base peso seco

PCS (kcal/kg) = poder calorífico superior (bomba calorimét.)

H (%) = teor de hidrogênio no material

600 (kcal) = valor médio energia absorvida/kg de água para atingir temperatura de evaporação.

9 = múltiplo do peso do h₂, contido no material, que fornece o peso da água formada durante a combustão

Análises Estatísticas

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, feito com apenas um lote, apresentando apenas um único tratamento.

Foram realizadas estatísticas descritivas (tendência central e dispersão) para as variáveis dos *pellets*. Especificamente, com média e desvio padrão.

Norma para *pellets*

O principal mercado consumidor de *pellets* está localizado na Europa, sendo assim importante classifica-los de acordo com as normas internacionais definidas pelos países consumidores. O padrão internacional: ISO 17225-2 trata da qualidade de *pellets* não madeira para uso não industrial e será utilizada para fins de comparação da qualidade dos *pellets* produzidos neste trabalho Tabela 1.

Tabela 1. Exigência das propriedades pela ISO 17225-2 para *pellets*.

Parâmetro	Unidade	Requerimentos da ISO 17225-2
Diâmetro (D)	Mm	6 ± 1 ou 8 ± 1
Comprimento (C)	Mm	$3,15 < L \leq 40$
Umidade	% b.s	≤ 10
Teor de cinzas	% b.s	$\leq 0,7 \leq 1,2 \leq 2,0$
Durabilidade mecânica	%	$\geq 98,0 \geq 97,5$
Finos	%	$\leq 1,0$
Poder calorífico inferior	MJ/kg	$\geq 16,5$
Densidade a granel	Kg/m ³	$\geq 600 \leq BD \leq 750$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades da imburana

Os valores médios para as propriedades físicas e químicas da imburana são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição das propriedades dos resíduos de *Commiphora leptophloeos*.

Propriedade	Valor Médio	
Densidade a Granel (Kg/cm ³)	91,5	
Análise Química Imediata (%)	Materiais Voláteis	77,32
	Cinzas	2,44
	Carbono Fixo	20,24
Poder Calorífico Superior (MJ/Kg)	19,8	

A imburana é considerada uma espécie de madeira leve e por isso não recomendada para produção de energia, devido ao maior volume necessário para gerar a mesma energia comparado a outras espécies mais densas (BARROS, 2009; NHUCHHEN *ET AL.*, 2014). Neste trabalho, foi averiguado, para os resíduos de imburana, um valor médio de 91,5 Kg/m³ para a densidade a granel. Sabe-se que a baixa densidade a granel da biomassa possui muitas desvantagens, como inviabilização do transporte a longas distâncias e grandes volumes no armazenamento decorrente do tamanho e formato desuniformes, além do baixo conteúdo energético contido por unidade volumétrica (KALIYAN & MOREY, 2009).

Santos (2013), ao estudar diferentes biomassas para energia, obteve valores médios para composição química imediata da imburana de 1,3% para teor de cinzas, 85% para materiais voláteis e 15% de carbono fixo. Estes valores diferem dos observados no presente trabalho, visto que os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas obtiveram respectivamente 77,32%, 20,24% e 2,44%. Os teores de cinzas em altas quantidades reduzem o poder calorífico superior, além de ser desvantajoso aos processos de combustão, causando incrustações nas câmaras de combustão, geração de resíduos, corrosão de tubulações e demais equipamentos (NHUCHHEN *et al.*, 2014). O valor encontrado para o teor de cinzas nos resíduos foi de 2,44%, pode-se estimar que os *pellets* produzidos com essa partícula apresentariam bons números diante dos requerimentos da ISO 17225-2, que indica um nível de ≤ 2 %.

Verificou-se, para resíduos da biomassa de imburana, um valor médio de 19,82 MJ/kg para o poder calorífico superior (PCS). O poder calorífico útil tem relação direta com a parcela de energia liberada ao longo da queima da

biomassa, calculando a energia necessária para vaporizar a água (SANTOS, 2010). Ao estimar o poder calorífico inferior PCI (Equação 1), pode-se observar um valor de 16,66 MJ/Kg, superior ao mínimo exigido pela norma (Tabela 1). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989). A umidade da biomassa afeta negativamente o poder calorífico útil, uma vez que parte do calor gerado é usado na vaporização da água e aquecimento do vapor até mesma temperatura dos gases de combustão (WALKER, 2010, *apud* VITAL et al, 2013, p. 351).

Tabela 3. Descrição estatística dos pellets de madeira de *Commiphora leptophloeos*.

Variável	Dimensão
Diâmetro (mm)	6.0 ± 0.22
Comprimento (mm)	18.6 ± 1.02
Densidade relativa aparente (kg/m ³)	1192 ± 54.1
Teor de umidade (%)	10.9 ± 0.73
Teor de finos (%)	0.29 ± 0.12
Durabilidade mecânica (DU)	95.2 ± 0.55

O diâmetro e o comprimento dos *pellets* apresentaram um valor médio de 6.0 ± 0.22 mm e 18.6 ± 1.02 respectivamente (Tabela 3). As dimensões obtidas neste experimento, satisfazem ao especificado na norma para *pellets*. Segundo Liu *et al* (2013), o diâmetro e o comprimento dos *pellets* influenciam na eficiência da combustão, sendo que os diâmetros menores possibilitam uma taxa de combustão mais padronizada e os comprimentos menores ajudam quanto à alimentação do sistema de combustão.

Pode-se observar um aumento geral da densidade a granel em relação a compactação dos resíduos em *pellets*, devido a diminuição do teor de umidade das partículas da biomassa. A norma de *pellets* indica valores mínimos de 600 kg/m³, assim, pode-se observar que os *pellets* de imburana atingiram um valor adequado.

Sabe-se que umidade concentrada na biomassa dificulta a produção de energia nos sistemas de combustão, aumenta a produção de finos, reduzindo sua resistência mecânica, o que inviabiliza o transporte. Além disso, a umidade alta possibilita a degradação por microrganismos em seu armazenamento (TUMULURU *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2014). Pode-se perceber que a umidade de equilíbrio

higroscópico dos *pellets* de imburana apresentaram um teor aceitável ao que é indicado pela norma para *pellets* de madeira, que exige valores menores ou iguais a 10% em base seca.

A resistência mecânica dos *pellets* foi medida por meio da porcentagem de finos e da durabilidade, esses parâmetros são interessantes para se entender o comportamento dos *pellets* quando submetidos ao transporte e manuseio, tornando-se desejável o maior valor para durabilidade mecânica e menor para os finos. A estocagem pode ser comprometida pela grande quantidade de finos, além de riscos de explosões no processo de queima (FILBAKK *et al.*, 2011). Nesse aspecto, quantidade de finos gerados, os *pellets* de imburana demonstraram um valor aceitável pela norma, estando abaixo do máximo de 3% exigido. Porém, a durabilidade mecânica dos *pellets* produzidos com partículas contendo 6% de umidade atingiram uma média de 95,35% não atendendo a especificação da norma ISO 17225-2, que exige valor maior ou igual a 96% para *pellets* do tipo B. Para solucionar esse problema, recomenda-se a alteração de variáveis de produção, como pressão e temperatura de prensagem.

Os resíduos da biomassa obtiveram um valor médio de poder calorífico superior (PCS) de 19,82 MJ/kg. Ao estimar o poder calorífico inferior PCI (Equação 1), pode-se observar um valor superior ao mínimo exigido pela norma (Tabela 1). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

CONCLUSÕES

Os resíduos de *C. leptophloeos* (imburana-de-espinho) apresentam potencial para produção de *pellets*, uma vez que atendem às exigências da norma ISO 17225-2, exceto para a durabilidade mecânica. Recomenda-se, portanto, outros estudos com parâmetros que influenciam sob a referida propriedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SERIDÓ (Rn). *Diagnóstico do Uso da Lenha nas Atividades Agroindustriais do Território do Seridó*. Caicó, 2008.

BARROS, B. C. *Volumetria, calorimetria e fixação de carbono em Florestas plantadas com espécies exóticas e nativas usadas como fonte energética no polo gesseiro do Araripe-PE*. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência

Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009

BRAND, M. A.; OLIVEIRA, L. C.; MARTINS, S. A.; LACERDA, S. R.; JUNIOR, L. S. *Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia*. In: V Congresso De Inovação Tecnológica Em Energia Elétrica (V Citenel). Anais... Belém, PA. 2009. .

CARVALHO, A. J. E.. *Plano de manejo florestal Fazenda Milhã/Poço da Pedra*. Jardim de Angicos/João Câmara: Natal, 2003. 27 p.

IBGE. *Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura*. 2015. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2015>>. Acesso em: 15 set. 2017.

COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. *Vias de valoração energética da biomassa*. Biomassa & Energia, Viçosa v. 1, n. 1, p. 71 - 92, 2004.

DIAS, J. M. C. de S.; SANTOS, D. T. dos; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 132 p.

DIN - DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. EN 14961-6: *Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 6: Non-woody pellets for non-industrial use*. Berlim: CEN: 16 p. 2012.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. *Caracterização energética de pellets de madeira*. Revista da Madeira, v. 135, p. 14 - 18, 2013.

JARA, E. R. P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 6 p. (Comunicação Técnica, 1797)

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. *Factors affecting strength and durability of densified*

biomass products. Biomass & Bioenergy, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009.

NHUCHHEN, D. R.; BASU, P.; ACHARYA, B. A *Comprehensive Review on Biomass Torrefaction*. International Journal of Renewable Energy & Biofuels, v. 2014, p. 56, 2014.

LIMA JÚNIOR, Claudemiro de. *Potencial do aproveitamento energético de fontes de biomassa na região nordeste do Brasil*. 2013 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

LIU, Z. G.; QUEK, A.; BALASUBRAMANIAN, R. *Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars*. Applied Energy, v. 113, p. 1315-1322, 2014.

LIU, Z. J.; JIANG, Z. H.; CAI, Z. Y.; FEI, B. H.; YU, Y.; LIU, X. G. *Effects of carbonization conditions on properties of bamboo pellets*. Renewable Energy, v. 51, p. 1-6, 2013.

LOUÇÃO, I. J. G. *Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nemátodo de pinheiro, para produção de peletes*. 177 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

SANTOS, R. C. *Potencial de briquetagem de resíduos florestais da região do Seridó, no Rio Grande do Norte*. Pesquisa Florestal Brasileira, [s.l.], v. 31, n. 68, p.285-294, 26 dez. 2011. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.285>.

SANTOS, Rosimeire Cavalcante dos et al. POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA DE ESPÉCIES ORIUNDAS DE PLANO DE MANEJO FLORESTAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, p.493-504, abr. 2013.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da Madeira para Fins Energéticos. In:

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **BIOENERGIA E BIORREFINARIA: Cana-de-açúcar & Espécies Florestais**. 1. ed. Viçosa, MG: Os Autores, 2013. cap. 12, p. 321-354.

PEREIRA, B. L. C. *Propriedades de pellets: biomassas, aditivos e tratamento térmico*. 2014. 73 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.