



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ENERGIA EM PLANTIO CLONAL DE EUCALYPTUS DO RIO GRANDE DO NORTE

Stephanie Hellen Gomes¹
Fernanda Moura Fonseca Lucas¹
Sarah Esther de Lima Costa²
Cynthia Patricia de Sousa Santos¹
Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes¹
Rosimeire Cavalcante dos Santos³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte

² UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS / ESCOLA AGRÍCOLA DE JUNDIAI / Universidade Federal do Rio Grande do Norte

³ UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS / Universidade Federal do Rio Grande do Norte



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ENERGIA EM PLANTIO CLONAL DE *EUCALYPTUS* DO RIO GRANDE DO NORTE

Resumo - O presente estudo objetivou estimar a produção de biomassa e energia de um plantio clonal experimental de curta rotação, com híbridos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, implantados em espaçamento 3 x 3 m, na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Macaíba/RN. As análises foram realizadas no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira da Universidade Federal de Viçosa, no qual foram realizadas as seguintes avaliações na madeira de três materiais genéticos (GG100; AEC0144 e AEC0224): determinação da densidade básica, poder calorífico superior, análise química, análise termogravimétrica e posteriormente foram realizados cálculos para a estimativa da produção de massa e energia. Foram utilizadas amostras compostas para as análises, retiradas de três pontos ao longo do fuste: da base (10 cm do solo), a 1/3 e a 2/3 da altura comercial da árvore. O experimento foi instalado segundo delineamento inteiramente casualizado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). O clone que se sobressaiu, no primeiro ano de plantio foi o GG100, com 11.805 kW.h.ha⁻¹ de produtividade energética, seguido do clone AEC0224 (6.755 kW.h.ha⁻¹) e AEC0144 (4.405 kW.h.ha⁻¹). O desempenho do clone GG100 foi devido à, principalmente, o maior crescimento volumétrico. A qualidade da madeira entre os clones apresentou pouca diferença. Devem-se estimular implantações de espécies de curta rotação no estado do RN para suprimento da alta demanda energética de biomassa florestal da região.

Palavras-chave: Produtividade energética, parâmetros de qualidade da madeira, clones de *Eucalyptus*.

BIOMASS AND ENERGY PRODUCTION AT SHORT ROTATION *EUCALYPTUS* CLONAL PLANTATIONS DEPLOYED IN RIO GRANDE DO NORTE

Abstract - The present study aimed to estimate the biomass and energy of a clonal planting short rotation experiment with hybrids of *Eucalyptus urophylla* ST Blake x *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, deployed in 3 x 3 m spacing, the Academic Unit Specialized in Agricultural Sciences, Macaíba/RN. The analyzes were performed at the Laboratory Panels and Wood Energy, Universidade Federal de Viçosa, in which the following ratings on wood three cultivars (GG100 ; AEC0144 and AEC0224) were performed: determination of basic density, high calorific power, chemical analysis, thermogravimetric analysis and subsequent

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

calculations for estimating the mass production and energy were performed. The base (10 cm from the ground), the third and two thirds of commercial tree height: composed for analysis, taken from three points along the stem samples were used. The experiment was a completely randomized design installed. Data were subjected to analysis of variance and the means were compared by Tukey test ($\alpha = 0.05$). The clone who excelled in the first year of planting was the GG100 with 11,805 kW.h.ha⁻¹ of energy productivity, followed by clone AEC0224 (6,755 kW.h.h⁻¹) and AEC0144 (4,405 kW.h.ha⁻¹). The performance of this clone was due to mainly the higher volumetric growth. The wood quality among clones showed little difference. It should stimulate deployments species of short rotation in the state of RN to supply the high energy demand of forest biomass in the region.

Keywords: Energy productivity, wood parameters, *Eucalyptus* clones.

1. INTRODUÇÃO

A busca por florestas de rápido crescimento, elevada produção, capacidade de suprimento energético, em espaço de tempo reduzido, é alvo de grande interesse e tendência mundial movida principalmente pela necessidade de redução na utilização de derivados de fontes fósseis e desenvolvimento tecnológico em bases mais sustentáveis. A biomassa, fonte de energia renovável importante, passou a ser valorizada como insumo energético durante a década de 70 e durante a década de 90 ganhou destaque no cenário energético mundial, devido principalmente, ao desenvolvimento tecnológico e questões ambientais de grande discussão no cenário mundial (NOGUEIRA, 2000).

Quando o objetivo é produção energética, o gênero *Eucalyptus* é uma das biomassas de proveniência florestal apontado como uma das melhores opções por apresentar ampla distribuição ecológica, devido ao elevado número de espécies, que acaba beneficiando também sua introdução em regiões com diferentes condições edafoclimáticas, além disso, é considerada uma biomassa com potencial de energia renovável e uma alternativa que pode auxiliar a diminuição de uso dos combustíveis de origem fóssil (PALUDO, 2013). A cultura de eucalipto possui, portanto, grande importância econômica, ambiental e social, e sua madeira por ser renovável, tem atendido a demanda energética tanto na forma de lenha como também de seus derivados, o carvão vegetal, por exemplo. Promove benefícios ao país através da utilização de seus produtos e serviços, além disso, é considerada uma fonte de matéria prima importante, que se dispõe como opção à extração

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

de espécies nativas. Trata-se, portanto, de uma cultura sustentável com papel importante em atividades também preservacionistas (MORA & GARCIA, 2000).

Embora a cultura do eucalipto seja bem difundida no Brasil, ainda sabe-se pouco sobre o desempenho da espécie em diferentes regiões do Nordeste brasileiro, em especial no Estado do Rio Grande do Norte (RN), e a qualidade de sua madeira para uso energético em seu desenvolvimento inicial. A participação do Estado na matriz energética é muito expressiva, do consumo total, 24 % são de energia primária, com destaque para os setores residencial (53,4 % de madeira e 4,3 % de carvão vegetal) e industrial (47,4 % de madeira) (GARIGLIO et al., 2010).

Levando em conta a importância dessa cultura para o Brasil, a variedade de espécies e clones existentes e a demanda de biomassa lenhosa no Estado, estudos relacionados à qualidade da madeira e seu desempenho energético são de grande valia para o desenvolvimento do setor florestal nessa região. Com isso, busca-se fornecer informações básicas do plantio que sirvam como referência para o acompanhamento de estudos com relação ao potencial energético dos clones ao longo dos anos, de modo que seja possível inferir, dentre os materiais, qual melhor se adaptou as condições ambientais impostas pela região e disponibiliza madeira de qualidade, visando produção energética. Além disso, estudos do eucalipto no Estado servem como incentivo ao crescimento de uma postura mais sustentável, na busca por matéria prima de origem vegetal, proporcionando aos que desse recurso sobrevivem um volume de madeira de qualidade homogênea maior se comparada ao encontrado em florestas nativas. O objetivo do presente estudo foi estimar a produção de biomassa e energia em um plantio clonal experimental de eucalipto, com um ano de idade, implantado no Estado do Rio Grande do Norte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho foram utilizados três materiais genéticos, sendo todos clones híbridos provenientes do cruzamento entre *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden', nomeados de GG100, AEC0144 e AEC0224. O plantio experimental se encontra na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias localizada no município de Macaíba-RN, uma região com características climáticas que variam entre os tipos As' e BSh' segundo classificação de Köppen, apresentando temperaturas elevadas ao longo de todo o ano e estação chuvosa no outono e inverno. A

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

precipitação média anual fica em torno de 1.227 mm e apresenta temperatura média anual de 26 °C (CESTARO & SOARES, 2004).

O plantio experimental compreende uma área de 6.6 ha, implantado em espaçamento de 3 x 3 m, as árvores estão distribuídas em seis talhões, dois para cada clone. Foram instaladas duas parcelas permanentes de forma sistemática com dimensões de 324 m² (18 m x 18 m). Duas árvores de altura média por parcela foram selecionadas, totalizando oito árvores por clone abatidas para análises. A seleção dos indivíduos realizada excluiu aquelas que, visualmente, apresentaram defeitos. A amostragem foi determinada para representação de uma parcela a cada 1,82 hectares, atingindo uma área amostrada equivalente a 6 % da área total, amostragem superior à normalmente realizada em inventários de florestas plantadas (CAMPOS & LEITE, 2013). Todos os indivíduos dentro das parcelas tiveram seu DAP (cm) e altura total (m) medidos.

Foram extraídos discos da base (10 cm do solo), a 1/3 e a 2/3 da altura comercial da árvore para posteriores análises química, física, poder calorífico superior, análise termogravimétrica e estimativa de produção de energia da madeira dos diferentes materiais genéticos. Na determinação da densidade básica da madeira foram extraídas duas cunhas opostas e o material remanescente foi seccionado, triturado e selecionado segundo a sua granulometria, no intuito de determinar a composição química estrutural e imediata, decomposição termogravimétrica e o poder calorífico superior. Todas as análises foram realizadas em amostragem composta, no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira da Universidade Federal de Viçosa (LAPEM).

A densidade básica da madeira foi determinada através de procedimentos de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984). Os valores da densidade básica foram obtidos a partir de uma média aritmética das densidades das respectivas cunhas.

Das amostras trituradas, as frações retidas em peneira de 60 Mesh, foram utilizadas para determinação do poder calorífico superior de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984). Outra parte desse material foi utilizado para determinar o teor absolutamente seco da madeira, conforme a norma TAPPI 264 0m-88 (Tappi Technical Divisions and Committees - TAPPI, 1998). A extração e determinação do teor de extrativos da madeira foram determinadas em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 264 om-88, alterando a mistura etanol/benzeno, por etanol/tolueno na proporção 1:2. Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método de Klason modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide & Demuner (1986),

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

derivado da norma TAPPI T 222 om-88. A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), a partir da diluição das amostras proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel. Em seguida foi determinado o teor de lignina total através da soma dos valores encontrados para lignina insolúvel e solúvel. Com o somatório dos teores de extrativos e ligninas totais decrescidos de 100 foi obtido o teor de holocelulose.

Para a análise química imediata da madeira as amostras foram moídas e peneiradas de acordo com a norma ABNT NBR 8112. Foram determinados os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, em base seca (ABNT, 1986). O teor de materiais voláteis foi determinado pelo aquecimento da serragem, a 950 °C, em mufla durante onze minutos. O teor de cinzas foi determinado após a combustão completa da madeira, através do aquecido em mufla a 650 °C, durante 6 horas. A massa de cinzas em relação à massa de madeira seca é o teor de cinzas. O teor de carbono fixo foi calculado pela soma dos teores de materiais voláteis e cinzas, subtraído de 100.

Para análise termogravimétrica (TGA) da madeira dos clones de eucalipto foi utilizado o Analisador Termogravimétrico TGA-1000, da marca Navas Instruments. A partir dos termogramas foi calculada a perda de massa nos seguintes intervalos de temperatura: 25 - 100 °C; 100 - 200 °C; 200 - 300 °C, 300 - 400 °C; 400 - 500 °C e o somatório até a temperatura de 500 °C.

A massa seca de madeira sem casca por hectare/ano foi obtida multiplicando-se o incremento médio anual ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) da madeira sem casca pela densidade básica da madeira ($kg \cdot m^{-3}$). As massas de lignina, expressas em tonelada foram determinadas multiplicando-se a massa seca de madeira pelo percentual de lignina total.

A massa seca de madeira de cada clone foi obtida a partir da densidade básica ($kg \cdot m^{-3}$) encontrada em 1 m^3 de madeira. Para o cálculo da energia por hectare, expressa em Kcal foi multiplicada a massa seca da madeira ($Kg \cdot ha^{-1}$) pelo respectivo poder calorífico superior de cada clone. Para conversão da energia em $kcal \cdot ha^{-1}$ para $kW \cdot h \cdot ha^{-1}$, foram divididos os valores em $Kcal \cdot ha^{-1}$ por 860, conforme Santos (2010).

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Cochran para testar a normalidade e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Em seguida, análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey. Para as variáveis Poder Calorífico Superior ($Kcal \cdot Kg^{-1}$) e Densidade Básica da Madeira ($Kg \cdot m^{-3}$), foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskall-Wallis, por estas não apresentarem homogeneidade das

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





variâncias. Considerou-se sempre o nível de significância de 5 %. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da densidade básica dos diferentes materiais genéticos, o clone GG100 apresentou um valor de 371 Kg.m^{-3} , superior ao dos clones AEC0144 (339 Kg.m^{-3}) e AEC0224 (343 Kg.m^{-3}), sendo que os dois últimos não diferiram estatisticamente entre si. Valores semelhantes foram encontrados por diferentes autores em estudos sobre influência da idade sobre características físico-químicas e anatômicas da madeira (TRUGILHO *et al.*, 2010). Segundo Pereira (2012) as maiores densidades estão associadas a madeiras com frações elevadas de parede das fibras, poros de menores diâmetros e maiores frequências, características que de acordo com a autora, provavelmente contribui para o aumento de matéria lenhosa por unidade de volume.

Panshine & Zeeuw (1980) diz que durante a fase juvenil, a densidade básica sofre um aumento significativo, seguido de um crescimento mais lento e quando a árvore atinge a maturidade, essa propriedade tende a se manter constante. Os valores encontrados para a densidade básica de uma madeira é um índice importante entre as propriedades físicas, pois influencia as demais, além de alterar a qualidade dos produtos originados a partir dessa madeira. Porém, não deve ser tratada isoladamente de outros fatores que atestam a qualidade de uma madeira para uso energético (CARNEIRO, 2012).

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios para o poder calorífico superior (PCS) da madeira dos clones avaliados. A análise de variância realizada para os resultados do PCS, não evidenciou diferença estatística significativa entre os clones. Silva (2010) ao verificar a variação do PCS ao longo do fuste de espécies florestais com um ano de idade, no município de Frederico Westphalen/RS, obteve um valor médio de $4.346 \text{ kcal.kg}^{-1}$ para madeira de *Eucalyptus grandis*, inferior ao encontrado no presente trabalho para os clones com mesma idade, o autor observou também que não houve variação significativa ao longo do fuste nessa idade. Castro (2011) ressalta em seu trabalho sobre as propriedades da madeira de diferentes materiais genéticos, dentre os quais híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e clones de *Eucalyptus urophylla*, para a produção de carvão vegetal em diferentes idades (3, 4, 5 e 7 anos), que o PCS da madeira apresenta pequena variação dentro de uma mesma espécie, uma vez que encontrou valores variando de $4.542 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ a $4.719 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$; de $4.615 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ a $4.718 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ e de $4.480 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ a $4.621 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$, para os clones GG100, GG157 e GG680, respectivamente.



Tabela 1 - Valores médios do Poder Calorífico Superior, Teor de Lignina, Extrativos e Holocelulose da madeira de clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, com um ano de idade.

Material Genético	PCS*	LI	LS	LT	TET	HOLO
	Kcal.Kg ⁻¹			(%)		
GG100	4.650 a	27,24 a	3,66 a	30,9 a	2,73 b	66,37 a
AEC0144	4.635 a	23,03 b	5,4 a	28,43 a	3,14 a	68,43 a
AEC0224	4.596 a	27,42 a	4,05 a	31,47 a	2,65 b	65,88 a

Em que: LI = Lignina Insolúvel; LS = Lignina Solúvel; LT = Lignina Total; TET = Teor de Extrativos; HOLO = Holocelulose. *Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si ($\alpha = 0,05$) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas, não diferem entre si ($\alpha = 0,05$) pelo teste Tukey.

A quantidade de calor desprendida da madeira é muito importante para conhecer a capacidade energética de uma determinada espécie, sendo, portanto uma das principais variáveis usadas para a seleção de espécies com melhores características para fins energéticos. A literatura cita que essa propriedade sofre influência por diferentes fatores como: composição química, em especial, teores de extrativos, cinzas, lignina, além da umidade que é uma das características que mais interfere (SANTOS, 2010). Pereira (2012) referência valores médios do PCS dos principais componentes da madeira, celulose, hemicelulose e lignina de 3.989 Kcal.Kg⁻¹, 3.206 Kcal.Kg⁻¹ e 6.006 Kcal.Kg⁻¹ respectivamente. A lignina, devido a sua estrutura, é um componente altamente energético, portanto, é de se esperar que quanto maior o seu teor na madeira maior o seu PCS, reflexo de sua resistência térmica se comparada aos demais componentes. No entanto, no presente estudo, não se observou essa relação.

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios para a composição química da madeira (extrativos, lignina e holocelulose) dos diferentes clones. A avaliação apresentou diferença estatística significativa nas médias obtidas entre os clones para a lignina insolúvel e teor de extrativos, enquanto que a porcentagem de lignina solúvel, teor de lignina total e holocelulose, não apresentaram variação expressiva. Os maiores valores de lignina insolúvel foram encontrados para os clones AEC0224 (27,42 %) e GG100 (27,24 %), diferindo estatisticamente do clone AEC0144, que apresentou o menor valor médio, 23,03 %. Em contrapartida, o clone AEC0144 apresentou a maior média de lignina solúvel (5,4 %). Quanto ao teor de lignina total, determinado através da soma dos valores das partes solúveis e insolúveis em ácido, embora não tenha apresentado diferença estatística significativa, as médias entre os clones variaram, com a maior média encontrada para o



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

clone AEC0224 com 31,47 %, valor justificável pela contribuição das partes solúvel e insolúvel que também foram elevadas.

Santana (2009) ao avaliar o crescimento e produção de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético encontrou um teor de lignina total de 29,62 %, para clones com 34 meses de idade provenientes de áreas de reflorestamentos de propriedades da GERDAU S.A., valor que está dentro da faixa encontrada para os clones do presente estudo, para a madeira apresentando apenas um ano de idade. Se comparado com o trabalho referenciado, sem levar em consideração outras variáveis, o presente estudo apresentou valores mais elevados de lignina total em idade menor que a estudada pelo autor. A literatura evidencia que espécies mais novas apresentam teor elevado de lignina, por possuírem maior proporção de madeira juvenil se comparada a madeiras com mais idade (VITAL et al., 1984). Porém no estudo de Santana (2009), citado anteriormente, os teores de lignina assim como o de holocelulose não apresentaram essa tendência linear com a variação da idade, o que demonstra nesse caso, que esses componentes não estavam sendo influenciados pelo fator idade. Castro (2011) por sua vez, referênciam que houve efeito da idade, para o componente químico holocelulose, entre os clones de eucalipto avaliado em seu trabalho. Quando o objetivo é uso energético, buscam-se madeiras com valores altos de lignina, devido a sua contribuição para o rendimento gravimétrico no processo de carbonização, fato que está relacionado à sua maior resistência à degradação térmica, e no caso da queima direta da madeira, a lignina contribui de forma significativa para a liberação de energia, já que esse componente químico, juntamente com alguns extrativos, possui menos oxigênio em sua estrutura que os demais componentes (celulose e hemicelulose) (CASTRO, 2011).

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da análise química imediata em função dos clones. Os maiores teores de materiais voláteis foram observados para os clones GG100 e AEC0144, ambos com 84 %, e o menor valor médio foi encontrado para o clone AEC0224 com 83 %. Não se observou diferença estatística significativa entre os clones para essa variável. O teor de carbono fixo também não diferiu estatisticamente entre os diferentes materiais genéticos avaliados. O menor teor de cinza encontrado foi para o clone GG100 (0,84 %), diferindo estatisticamente dos demais que apresentaram 1,16 % e 1,17 % nos clones AEC0144 e AEC0224 respectivamente. Trugilho *et. al.*, (1996) obtiveram para madeira de *Eucalyptus* com um ano de idade, valores médios para o teor de cinzas em torno de 0,7 %, menor que o encontrado para os clones no presente trabalho.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO



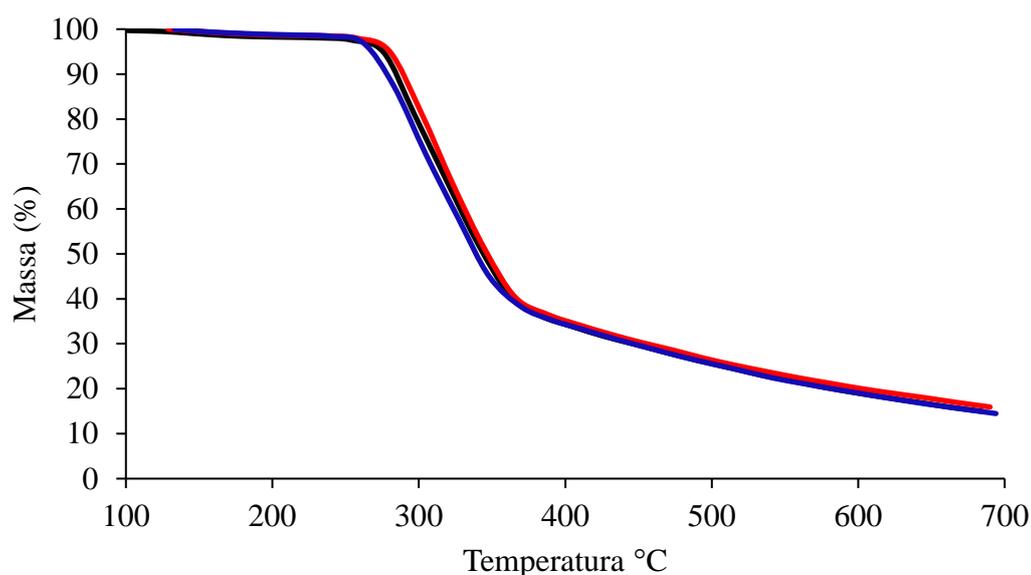


Tabela 2 - Valores médios de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas na madeira dos clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, com um ano de idade.

Material Genético	CF	MV	CZ
		(%)	
GG100	14,97 A	84 A	0,84 B
AEC0144	14,33 A	84 A	1,16 A
AEC0224	15,8 A	83 A	1,17 A

Em que: CF = Carbono Fixo, MV = Materiais Voláteis, CZ = Cinzas. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, na mesma coluna, a 5 % de significância pelo teste de Tukey.

Maior teor de voláteis significa maior tempo em fase de chama, isso ocorre durante a queima direta da madeira, na qual gases são liberados em função do teor de matérias voláteis, mantendo dessa forma a combustão em fase de chama. Portanto, quanto maior for à presença dessas substâncias, menor a intensidade de calor em alguns pontos na região de queima (BRITO, 1992). Em contra partida, alto teor de carbono fixo na madeira leva a uma queima mais lenta, implicando maior tempo de residência da madeira. Portanto, a proporção de materiais voláteis e carbono fixo influenciam as características de queima do material, no caso do primeiro, possui a característica de queimar rapidamente na forma gasosa e o segundo lentamente na fase sólida. Teores de cinza elevados, não são desejáveis devido à redução de eficiência do processo de queima direta da madeira.



— TGA Clone GG 100 — TGA Clone AEC0144 — TGA Clone AEC0224



Figura 1 - Comparação entre as curvas da TGA da madeira de *Eucalyptus* para os diferentes materiais genéticos.

Na Figura 1 são apresentadas as curvas referentes às análises termogravimétricas (TGA) da madeira dos clones e na Tabela 3 são apresentados os valores da perda de massa em função das faixas de temperatura. As curvas da TGA demonstram a porcentagem das perdas de massa em função da temperatura, evidenciando os perfis de degradação térmica da madeira dos diferentes materiais genéticos avaliados. Quando ocorre a degradação da amostra, percebe-se um mergulho das curvas por volta de 260 a 360 °C para os três clones, com pequenas diferenciações nas temperaturas referentes aos picos máximos de degradação da madeira. As curvas da TGA dos clones analisados apresentam semelhanças em sua maior parte se sobrepondo em alguns pontos, não ocorrendo, portanto, diferenças significativas entre as mesmas. Os perfis de decomposição térmica da madeira dos diferentes clones apresentaram pequenas distinções de temperatura na região de máxima degradação. Pereira *et al.*, (2013) em seu estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* por termogravimetria e calorimetria evidenciaram três faixas de degradação atribuídas, especificamente, a secagem da madeira e a degradação da hemicelulose e celulose. Para o presente estudo foram observadas faixas de degradação térmica conferidas à secagem da madeira, que de acordo com Santos (2010) fica em torno de 30 a 100 °C (reação tipicamente endotérmica); e a outra faixa mais acentuada à degradação dos principais componentes da madeira, holocelulose (hemicelulose + celulose) os quais se degradam de forma distinta em diferentes faixas de temperaturas. Constata-se através dos dados representados na Tabela 3 que os clones GG100 e AEC0144 apresentaram a menor perda de massa total (74 % em média) na faixa de temperatura de 100 a 500 °C, o que se remete a estabilidade térmica da madeira desses materiais quando comparados ao clone AEC0224 (76 %). Santos (2010) em seu trabalho com clones de eucalipto verificou que de forma geral, quando a madeira apresenta maior estabilidade térmica maior é o seu rendimento em carvão vegetal, o contrário também foi observado.

Tabela 3 - Perda de massa (%) dos diferentes materiais genéticos em função das faixas de temperatura.

Material Genético	Perda de massa (%)				Total
	100 – 200 °C	200 – 300 °C	300 – 400 °C	400 – 500 °C	
GG100	1	32	32	9	74
AEC0144	1	17	47	9	74



AEC0224	1	27	39	9	76
---------	---	----	----	---	----

Na faixa de temperatura de 100 a 200 °C a perda de massa foi mínima, em média 1 % para os três clones. É durante essa faixa de temperatura que ocorre a liberação da água de constituição da madeira (Castro, 2011). A maior perda de massa observada entre as faixas de temperatura de 300 a 400 °C foi para o clone AEC0144, que apresentou valor médio de 47 %, o que pode estar relacionado a presença de maior teor de hemicelulose e menor teor de lignina na madeira analisada. Enquanto que para o clone GG100 a massa perdida é a mesma (32 %) para as faixas de temperatura de 200, 300 e 400 °C.

Castro (2011) encontrou valores para perda de massa na madeira juvenil de eucalipto, nas faixas de 100 a 200 °C, variando em média de 0,4 % a 0,7 % valores menores do que os encontrados pelo presente trabalho. Pereira et al., (2013) ao avaliar a degradação térmica da madeira juvenil de diferentes clones de *Eucalyptus* por meio de análise termogravimétrica (TG/DTG) encontrou na faixa térmica compreendida entre 100 a 200 °C uma perda de massa média de 0,36 %, valor também baixo como os encontrados por Castro (2011) e no presente estudo para a mesma faixa de temperatura.

Os autores atribuem esse valor mínimo a chamada zona de estabilidade térmica da madeira, onde os componentes da madeira permanecem estáveis desde que não sejam submetidos a períodos muito longos de uma dada temperatura (PEREIRA et al., 2013; CASTRO, 2011).

Ainda no trabalho executado por Pereira et al., (2013), para a faixa de temperatura de 250 a 300 °C encontraram perda de massa de 17 %, igual ao obtido para o clone AEC0144 no presente estudo, e inferiram que a maior parte dessa massa perdida está relacionada à degradação da hemicelulose ocorrente nessas temperaturas. As maiores perdas de massa se efetuaram também nas faixas de temperatura de 300 a 400 °C, com valores semelhantes ao deste estudo para os clones GG100 e AEC0144, com médias de 32 % e 47 %, respectivamente. Os diferentes autores mencionam que a degradação da celulose na qual sua despolimerização acontece depois da degradação das hemiceluloses é a responsável por essa grande perda nessas faixas de temperatura.

De maneira geral, o maior pico de degradação, para os diferentes clones, pode ser atribuído à degradação da hemicelulose, que de acordo com Vidaurre et. al., (2011) em madeira juvenil apresentam teores elevados, fato que foi observado no presente trabalho. Picos de degradação da lignina não foram observados assim como no trabalho de Pereira et. al., (2013), o que pode ser atribuída a sua estabilidade térmica, já que a mesma sofre



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

degradação em ampla faixa de temperaturas, apenas uma pequena porção se decompõe em temperaturas abaixo de 400 °C. Podemos observar também, uma menor perda de massa em temperaturas mais elevada (FIGUEIROA & MORAES, 2009).

A Tabela 4 apresenta os valores médios das estimativas de massa e produtividade energética. Pode-se evidenciar que ocorre um reflexo nos valores obtidos para a massa seca da madeira nos diferentes clones em relação à massa de lignina, que de uma forma geral são resultantes dos valores obtidos no IMA. As maiores médias observadas foi para o clone GG100, apresentando ao final uma produtividade energética de 11.805 kW h ha⁻¹. As menores massas, por sua vez, foram obtidas pelo clone AEC0144 apresentando uma baixa massa de lignina total, reflexo do valor baixo de sua massa seca.

Tabela 4 - Estimativa de massa seca da madeira, lignina total e energia disponível.

Material Genético	IMA _{ano1} (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	MSM (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)	MLT (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia (kW.h.m ⁻³)	Energia (kW.h.ha ⁻¹)
GG100	5,88	2,18	0,67	2.008	11.805
AEC0144	2,41	0,82	0,23	1.828	4.405
AEC0224	3,69	1,27	0,40	1.831	6.755

Em que: MSM = Massa Seca da Madeira; MLT = Massa de Lignina Total.

A massa seca da madeira obtida por multiplicação do incremento médio anual pela densidade básica da madeira é fundamental para quantificar a produção do povoamento, em matéria seca. A densidade nesse caso influencia esse parâmetro de forma direta, assim como a massa de lignina (SANTOS, 2012).

A produtividade energética é o resultado da produção de biomassa por área, e a qualidade energética mensurada pelo poder calorífico da madeira produzida (SANTOS, 2012). A maior quantidade de energia em kW.h.ha⁻¹ foi apresentada pelo clone GG100 com 11.805 kW.h.ha⁻¹, que segundo Vale et al.(2000) e Santos (2012), essa quantidade energética superior aos demais clones está relacionada a produção de massa de matéria seca que foi maior para o referido clone.

No Rio Grande do Norte, as atividades econômicas existentes utilizam largamente a lenha em seus processos produtivos como fonte principal de energia, juntamente com o setor residencial. A madeira de eucalipto apresenta grande potencial como fonte de energia devido as suas características, o que pode vir a ser uma das alternativas para suprir a

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





necessidade por lenha para produção energética no Estado, substituindo assim espécies de uso tradicional, que em sua maioria são originadas de fontes ilegais.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- O clone que se sobressaiu, no primeiro ano de plantio foi o GG100, com 11.805 kW.h.ha⁻¹ de produtividade energética, seguido do clone AEC0224 (6.755 kW.h.ha⁻¹) e AEC0144 (4.405 kW.h.ha⁻¹). O desempenho do clone GG100 foi devido à, principalmente, o maior crescimento volumétrico.
- A qualidade da madeira entre os clones apresentou pouca diferença.
- Deve-se estimular implantações de espécies de curta rotação no estado do RN para suprimento da demanda energética da região.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

BRITO, J. O. **Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise.** 1992. p. 88. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 1992.

CAMPOS, J.C.C; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas.** 4. ed., Viçosa: UFV, 2013. 605p.

CARNEIRO, A. C. O. et al. **Qualidade da madeira e tecnologias de produção de carvão vegetal.** In Semana do Fazendeiro. 83. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal.** Viçosa, MG, 2011. Dissertação (mestrado) Univesidade Federal de Viçosa.

CESTARO, L.A. SOARES, J.J. Variações florística e estrutural e relações fitogeográficas de hum fragmento de floresta decídua no Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Bot. Bras.**, vol.18, n.2, 2004.

FIGUERO, A, M. J. M.; MORAES, P. D. **Comportamento da madeira a temperaturas elevadas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

GARIGLIO, M. A.; et al. **Uso sustentável e conservação do recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 368, 2010.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: J. Wiley, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: UFV, 2000. 102 p.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000. 144p.

PALUDO, G.; BORGES, A. J.; GONÇALVES, T. S. Produção e rentabilidade de florestas plantadas do gênero eucalipto. In: **Congresso Brasileiro de Eucalipto, 2.**, 2013, São Paulo. *Resumos...* São Paulo, 2013. p. 4.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 ed. New York: 1980. 722p.

PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**. 13 de fev. de 2012. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade de Viçosa, Viçosa, MG. 2012.

PEREIRA, B. L. C. et. al. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 567-576, 2013.

SANTANA, W.M.S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético**. Lavras: UFPA, 2009. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 159 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2010.

SANTOS, L. C. et. al. **Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais**. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 5, 2012.

SILVA, M. E. C. M. **Tecnologia dos produtos florestais: composição química da madeira**. UTAD, 2010.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI test methods**. Atlanta, 1998. 46 p.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

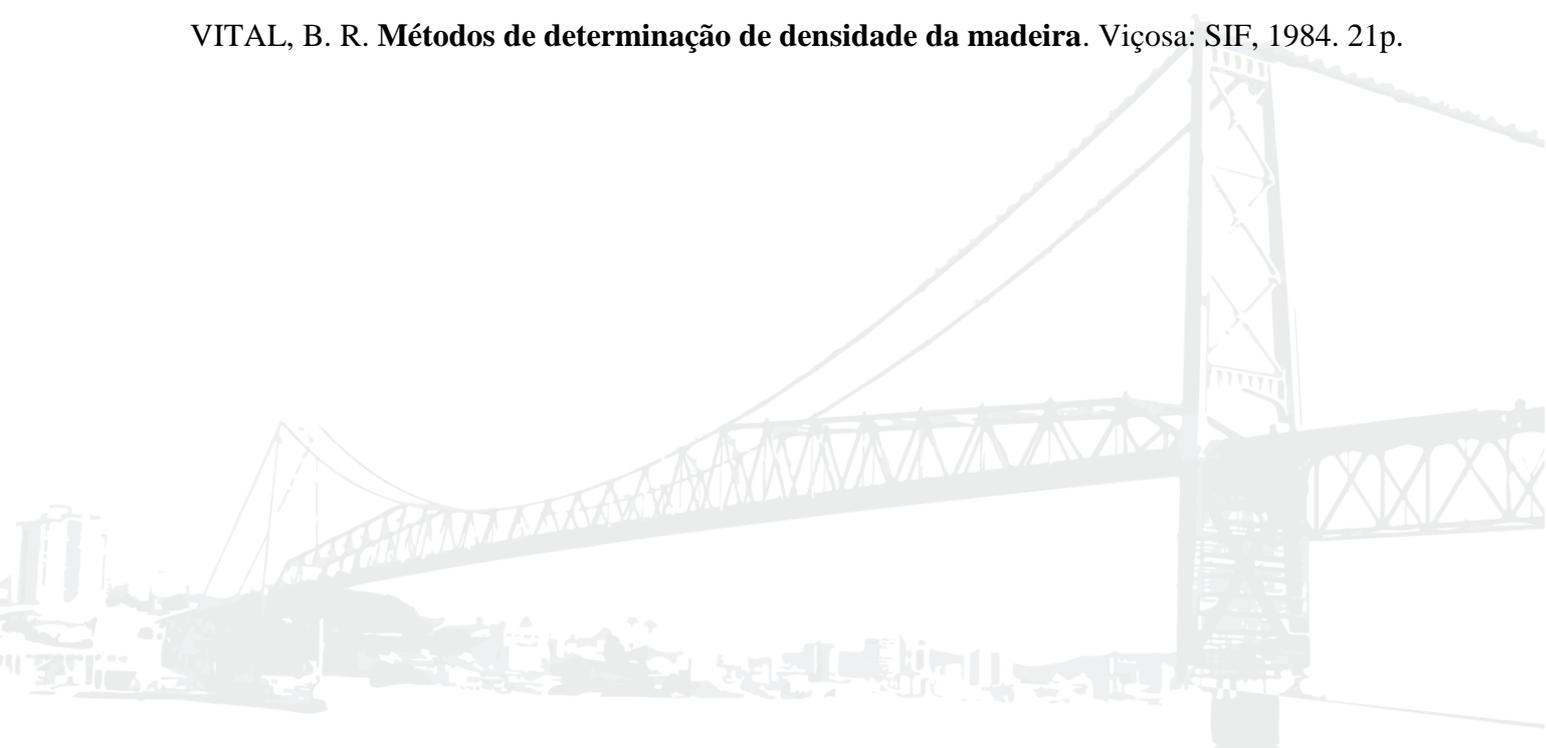
TRUGILHO, P. F. LIMA, J. T. MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.2, n.1. 1996.

TRUGILHO, P. F. et al. **Estimativa de carbono fixado na madeira de um clone híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis***. **Cerne**, v.16, p.33-40, 2010.

VALE, A. T. et. al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maden e *Acacia mangium* Willd. em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

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

VITAL, B. R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p.



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

