

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

CRESCIMENTO E POTENCIAL ENERGÉTICO DE SETE
MATERIAIS GENÉTICOS DE EUCALIPTO NA REGIÃO DO
MÉDIO PARAÍBA DO SUL, RJ

DERECK HALLEY ANTHONY ALVES FERREIRA

2015



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

CRESCIMENTO E POTENCIAL ENERGÉTICO DE SETE
MATERIAIS GENÉTICOS DE EUCALIPTO NA REGIÃO DO
MÉDIO PARAÍBA DO SUL, RJ

DERECK HALLEY ANTHONY ALVES FERREIRA

Sob a Orientação do Professor

Paulo Sérgio dos Santos Leles

e

Sob a Co-orientação dos Professores

Azarias Andrade Machado

Rogério Luiz da Silva

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal

Seropédica, RJ

Fevereiro de 2015

634.97342098153

F383c

f

Ferreira, Dereck Halley Anthony Alves, 1986-
Crescimento e potencial energético de sete
materiais genéticos de eucalipto na região do
Médio Paraíba do Sul, RJ / Dereck Halley
Anthony Alves Ferreira - 2015.
39 f.: il.

Orientador: Paulo Sérgio dos Santos Leles.
Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais.

Inclui bibliografias.

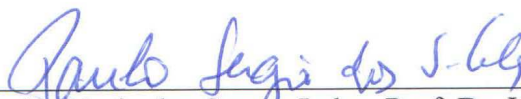
1. Eucalipto - Melhoramento genético -
Paty do Alferes (Rio de Janeiro, RJ) - Teses.
2. Eucalyptus grandis - Teses. 3. Eucalyptus
pellita - Teses. 4. Sistemas silviculturais -
Teses. 5. Madeira - Química - Teses. I.
Leles, Paulo Sérgio dos Santos, 1966-. II.
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
e Florestais. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

DERECK HALLEY ANTHONY ALVES FERREIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

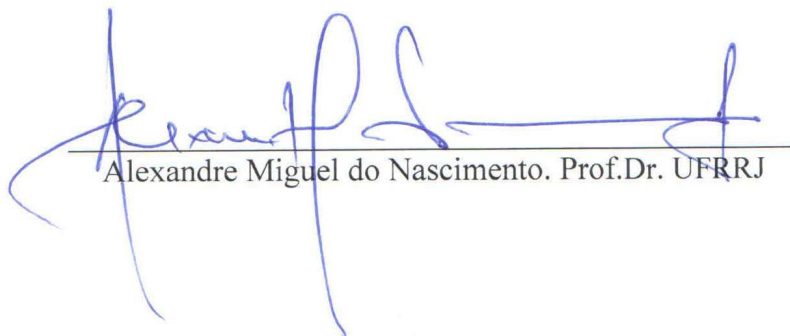
Dissertação aprovada em 04/02/2015



Paulo Sérgio dos Santos Leles. Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Eliane de Paula Clemente Almeida. Pesq. Dr. Embrapa



Alexandre Miguel do Nascimento. Prof. Dr. UFRRJ

Dedico

À minha tia Sônia que sempre me ajudou durante toda minha vida e que não mais está presente em corpo, mas sempre estará presente.

Á minha mãe, Selma, que sempre poderá contar comigo.

A meu tio Zezito.

E a todos meus familiares.

RESUMO GERAL

FERREIRA, Dereck Halley Anthony Alves. **Crescimento e potencial energético de sete materiais genéticos de eucalipto na região do Médio Paraíba do Sul, RJ.** 2015. 39p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Silvicultura). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

Este trabalho teve por objetivos avaliar o crescimento, a eficiência no uso de nutrientes e o potencial energético da madeira e do carvão vegetal de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* implantados no município de Paty do Alferes, RJ. Foram utilizadas quatro espécies de eucalipto, uma fonte de semente híbrida de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* e dois clones (amarelo e branco) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. O experimento foi instalado em altitude média de 706 m, em área de encosta, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Os resultados indicam que *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* são os mais promissores para a região do Médio Paraíba do Sul, RJ e adjacências visando rendimento e qualidade da madeira para fins energéticos e *E. pellita* é o material genético menos recomendado.

Palavras chave: seleção de espécies, silvicultura econômica e energia da madeira.

GERAL ABSTRACT

FERREIRA, Dereck Halley Anthony Alves. **Growth and energetic potential of seven *Eucalyptus* genetic materials planted in region of Médio Paraíba do Sul, RJ.** 2015. 39p. Dissertation (Master Science in Environmental Science and Forestry, Silviculture). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

This work aimed to evaluate the growth, efficiency in the use of nutrients and the energy potential of wood and charcoal seven genetic materials of *Eucalyptus* implanted in the municipal district of Paty do Alferes, RJ. Were used four eucalyptus species, a hybrid seed source of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* and two clones (amarelo and branco) of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. The experiment was conducted on average altitude of 706 m in hilly area, in a randomized complete block design with three replications. The results indicate that *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, are the most promising for the region Médio Paraíba do Sul region, Brazil and surrounding areas aiming yield and quality of wood energy and *E. pellita* is the least recommended genetic material.

Keywords: selection of species, economic forestry and wood energy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPITULO I.....	3
CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NURIENTES EM SETE MATERIAIS GENÉTICOS DE <i>Eucalyptus</i> NA REGIÃO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL, RJ	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1 Descrição da região	7
2.2 Instalação, condução e avaliação do experimento.....	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4. CONCLUSÕES	16
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPITULO II.....	19
POTENCIAL ENERGÉTICO DE SETE MATERIAIS GENÉTICOS DE <i>Eucalyptus</i> CULTIVADOS NO MÉDIO PARAÍBA DO SUL, RJ.....	19
RESUMO	20
ABSTRACT	21
1. INTRODUÇÃO.....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.1 Materiais genéticos e amostragem.....	23
2.2 Densidade básica da madeira e densidade relativa aparente do carvão vegetal	24
2.3 Pirólise dos materiais lenhosos.....	24
2.4 Análise química imediata do carvão vegetal	24
2.5 Determinação do poder calorífico da madeira e do carvão vegetal.....	24
2.6 Análise dos dados	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1 Densidade básica da madeira e densidade relativa aparente do carvão vegetal	25
3.2 Pirólise dos materiais lenhosos.....	26
3.3 Análise química imediata	27
3.4 Poder calorífico.....	28
4. CONCLUSÕES	29
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CONCLUSÕES GERAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO GERAL

A formação de povoamentos florestais com espécies de rápido crescimento, como as de eucalipto, é importante para aumentar a oferta de madeira e outros produtos florestais, com isso diminuindo a pressão sobre as florestas nativas. Segundo Ribeiro et al. (2011) estes povoamentos constituem formas de fixação de carbono, contribuindo para minimizar os efeitos do excesso de CO₂ na atmosfera.

É cada vez maior a busca por materiais genéticos com potencial florestal, buscando atender às exigências de mercado, à maior produtividade e adaptados a qualidade dos sítios, entre outros aspectos (NAPPO et al., 2005). Segundo Tonello et al. (2008) 85% dos produtos comerciais encontrados no mercado são originários de plantações florestais. Provavelmente, nos dias atuais esse valor seja maior, evidenciando a importância das plantações florestais.

De acordo com dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013), a área plantada com eucalipto no Brasil até o ano de 2012 era de aproximadamente 5,11 milhões de hectares, correspondendo a 71% das áreas das plantações florestais. Estes povoamentos de eucalipto, originados de sementes ou de clones, que são utilizados no estabelecimento de povoamentos em grandes e médias empresas, também em pequenas propriedades rurais. As características de rápido crescimento, boa adaptação às condições climáticas e edáficas existentes em diferentes regiões do país, explicam a importante participação do eucalipto nos povoamentos implantados para fins de reflorestamento (STURION e BELLOTE, 2000; MARTINEZ et al., 2012).

Os estados de Minas Gerais e de São Paulo destacam-se como os principais produtores de eucalipto, devido principalmente a grande demanda para produção de carvão vegetal e celulose, respectivamente (ABRAF, 2013). Com isso, nestes estados estão as principais pesquisas com eucalipto no Brasil, havendo necessidade de desenvolvimento de pesquisas em outros estados, devido às condições ambientais das diferentes regiões do país.

O estado do Rio de Janeiro apesar de possuir o segundo valor de produto interno bruto do Brasil (IBGE, 2014), não se encontra entre os 15 maiores produtores de madeira originária de plantações florestais do país (ABRAF, 2013). Segundo Amorim et al. (2012), tendo como base levantamento realizado em 2010, os reflorestamentos no Estado do Rio de Janeiro somavam apenas 18,4 mil hectares, sendo que deste em torno de 98% eram constituídos por eucalipto. Relatório da Poyry Silviconsult (2012) informa que 89,4% da madeira consumida no Rio de Janeiro provêm de outros estados da federação, e que para atender a demanda do consumo equivalente de madeira *in natura* seriam necessários aproximadamente 119,2 mil hectares de povoamentos florestais advindos de reflorestamentos, com ênfase às espécies do gênero eucalipto.

A lei de Zoneamento ecológico e econômico (Lei 5.067/2007) dispõe sobre o zoneamento ecológico-econômico do estado do Rio de Janeiro e define critérios para a implantação da atividade de silvicultura (RIO DE JANEIRO, 2014). O estado foi dividido em nove bacias hidrográficas, e entre estas encontra-se a Região Hidrográfica RH III – médio Paraíba do Sul. Segundo o levantamento da Secretaria de Estado do Ambiente (2013) esse espaço geográfico engloba área de aproximadamente 643.079 hectares, sendo que 44,5% foram considerados favoráveis à implantação de atividades de silvicultura. Nesta região e na RH IV, que estão próximas, existe demanda elevada de madeira como fonte de energia para pizzarias, padarias e cerâmicas. Outra fonte de

consumo de lenha são as indústrias têxteis, onde estão localizados os municípios de Petrópolis e Nova Friburgo. Segundo Amorim et al. (2012) nestas duas regiões, com base em levantamento realizado no ano de 2010, estavam localizados 68,3% das áreas com povoamento de eucalipto do estado.

Vários estudos foram realizados para testar espécies de eucalipto (MORAIS et al., 1990; ARAUJO, 1993; SCHUMACHER e POGGIANI, 1993; BERNARDO et al., 1998; DRUMOND et al., 1998; SANTANA et al., 1999; COUTINHO et al., 2004; MAGALHÃES et al., 2007). No entanto, nenhum desses estudos foi realizado no Rio de Janeiro, especialmente na região do Médio Paraíba do Sul, onde está concentrada a maior área de plantio do estado. Assim, devido às diferenças de adaptabilidade das espécies de eucalipto tornam-se necessários estudos para identificar os materiais genéticos apropriados para essa região do Brasil, bem como para desenvolver clones específicos para as características exigidas.

Nesse contexto, pouco se conhece a respeito de espécies ou materiais genéticos mais adaptados para suprir a demanda do mercado consumidor. Torna-se necessário identificar materiais genéticos que conciliem a boa produtividade madeireira, resistência a doenças com as boas características tecnológicas para fins energéticos, como elevado poder calorífico, alto rendimento em carvão vegetal, baixo teor de cinzas, entre outras.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o crescimento, a eficiência de utilização nutricional e o potencial energético de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* para a região do Médio Paraíba do Sul, RJ, visando a indicação de materiais genéticos de eucalipto para a produção energética para esta região e adjacências.

CAPITULO I

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM SETE MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* NA REGIÃO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL, RJ

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento e a eficiência na utilização de nutrientes em sete materiais genéticos de *Eucalyptus*, implantados na região do Médio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro. Foram utilizadas quatro espécies de eucalipto, uma fonte de semente híbrida de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* e dois clones (Amarelo e Branco) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. O experimento foi instalado em altitude média de 706 m, em área de encosta, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Após o plantio, foi avaliada a sobrevivência aos 2 meses e o diâmetro à altura de 1,30 metro do solo e altura total das plantas foram avaliados aos 18 e 80 meses. Nesta última medição, seis árvores médias de cada material genético foram abatidas para determinação do volume (com casca e sem casca), lenho (madeira com casca). Foram retiradas amostras para determinação do teor de nutrientes e calculada a eficiência de utilização de N, P e K. Os resultados demonstraram que *Eucalyptus grandis*, clone Amarelo e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* apresentaram os melhores desempenhos, sendo os indicados para a formação dos povoamentos na região do Médio Paraíba do Sul, RJ e adjacências. *Eucalyptus pellita* foi o material genético que apresentou menor desempenho.

Palavras chave: seleção de espécies, teste de introdução e silvicultura econômica.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the growth and the efficient use of nutrients in seven genetic materials of Eucalyptus, deployed in the region Médio Paraíba do Sul region, state of Rio de Janeiro. Four eucalypt species were used and the hybrid *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, from seeds and two clones (amarelo and branco) of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. The experiment was conducted on average altitude of 706 m in hilly area, in a randomized complete block design with three replications. After the planting, was assessed the survival at 2 months and the diameter to the height of 1.30 meter from the ground, and total plant height at 18 and 80 months. In the latter measurement, six medium trees of each genetic material were slaughtered to determine the volume (with and without the peel), wood (wood with bark). Samples were taken to determine the nutrient content and calculated the efficiency of use of N, P and K. The results showed that *Eucalyptus grandis*, clone amarelo and *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* showed the best results, with the nominees for the formation of population of eucalypt in the region Médio Paraíba do Sul, RJ and vicinity. *Eucalyptus pellita* was the genetic material that obtained lower yield.

Keywords: species selection, introduction test and forestry economic.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* é de grande plasticidade, crescendo satisfatoriamente em uma diversidade de condições edafoclimáticas. No entanto, as espécies apresentam diferenças fundamentais entre si quanto às respostas aos estímulos ambientais de cada nicho ecológico. Nas últimas décadas, com os trabalhos de melhoramento genético com eucalipto, surgiram os cruzamentos envolvendo materiais genéticos distintos, originando populações híbridas. Após seleção de indivíduos superiores nestas populações e com auxílio da macro e da miniestaquia foi possível a utilização dos clones. No entanto, todos materiais para serem utilizados em uma região hidrográfica com sucesso necessitam da realização de testes para avaliação da sua capacidade de adaptação e produção.

O processo de escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para plantio no Brasil sempre foi baseado, primeiramente, em critérios climáticos (BARROS et al., 1990b; BORGES, 2012). Embora o clima seja o definidor da ocorrência das espécies na sua região de origem, uma mesma espécie pode ser encontrada em locais de diferentes condições climáticas, o que pode ocasionar um comportamento diferenciado entre locais. A ocorrência de estiagem prolongada e de pragas e doenças também podem afetar a adequação das espécies em um novo local de plantio (DEL QUIQUI et al., 2001).

Normalmente a sobrevivência e o crescimento em altura são as características mais importantes para avaliação da adaptação de uma espécie em determinado ambiente. Outras características que também são utilizadas são o diâmetro e o volume cilíndrico (DRUMOND e et al., 1998; COUTINHO et al., 2004; MAGALHÃES et al., 2007). Em última análise, o volume é a característica mais importante, considerando que é derivado das outras características mencionadas (SOARES et al., 2006) e com as quais, normalmente, apresenta alta correlação positiva (MORI et al., 1988). Outra característica de crescimento que pode ser avaliada é a biomassa (REIS et al.; 1985; MORAIS et al., 1990; BERNARDO et al., 1998; SANTANA et al., 2000), mas normalmente é necessário abater e seccionar a árvore, onerando a atividade no campo.

Além do crescimento, a eficiência de utilização de nutrientes também pode ser utilizada para a seleção de materiais genéticos de eucalipto que melhor se adapte à condição de fertilidade relativamente baixa do solo, sendo desejáveis as espécies com maior capacidade de absorver e utilizar os nutrientes (MORAIS et al., 1990). A avaliação da eficiência de utilização dos nutrientes por parte das diferentes espécies florestais e, ou clones, é uma característica importante para auxiliar o silvicultor no momento de optar pelo material a ser usado nos reflorestamentos, como no caso de reposição de nutrientes ao solo, no caso da condução por talhadia. Do ponto de vista nutricional, uma espécie/genótipo superior é aquela capaz de estabelecer e ter uma boa produção em condições desfavoráveis de fertilidade do solo, tendo habilidade de absorver os nutrientes necessários, em menor quantidade, e, ou, distribuí-los de maneira mais eficiente nos diversos componentes da planta, sem comprometer a produtividade (MARSCHNER, 1997).

Diante das diferenças bioclimáticas e frente à demanda do mercado consumidor do estado do Rio de Janeiro se torna importante estudar o comportamento de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, bem como a eficiência no uso de nutrientes, a fim de auxiliar futuras implantações de povoamentos florestais. Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar o crescimento e a eficiência no uso de nutrientes de sete materiais genéticos de *Eucalyptus*, na região do Médio Paraíba do Sul, RJ.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da região

O experimento foi instalado no distrito de Avelar, Município de Paty do Alferes (Figura 1), inserido na região hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro.

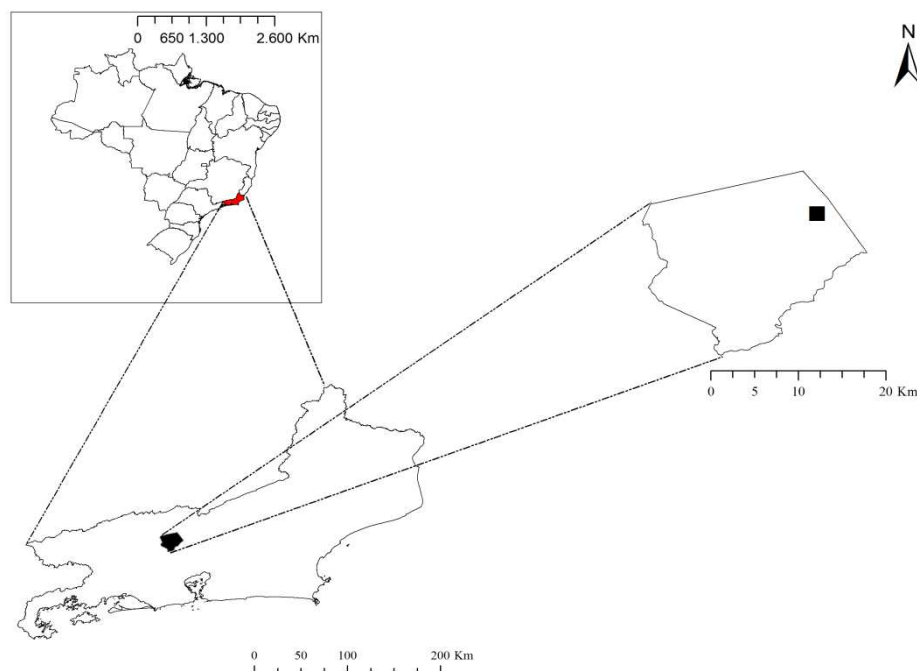


Figura 1. Localização do município de Paty do Alferes, RJ e do local da área experimental.

O clima de Paty de Alferes, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cw subtropical, com chuvas no verão e estiagem no inverno (INMET/MAARA, 1995). A precipitação média anual para os anos de 2006 a 2011 (período do experimento) foi 1.228 mm, segundo dados da estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), localizada em Avelar, Paty do Alferes. De posse dos dados meteorológicos, foi calculado o balanço hídrico da região para o período (Figura 1), de acordo com metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por Sentelhas et al. (1998) e usando o valor de 300 mm, como a capacidade de água disponível (CAD) no solo, decorrente da classe de solos de maior ocorrência na região, que segundo Rio de Janeiro (1992), é LATOSSOLO VERMELHO AMARELO. Observa-se déficit hídrico a partir do mês de abril até o mês de setembro, com maior acentuação nos meses de agosto e setembro. De novembro a fevereiro ocorreu um excedente hídrico no solo.

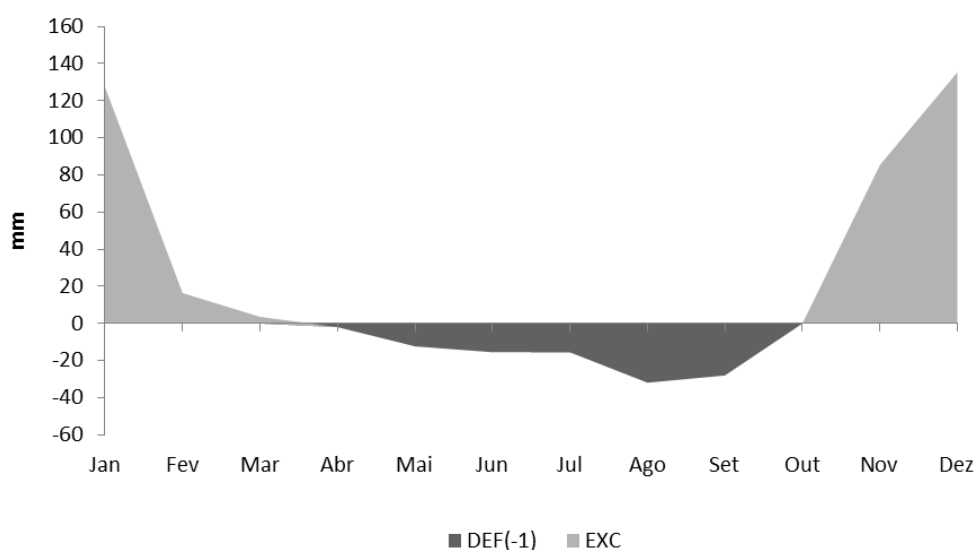


Figura 2. Extrato do balanço hídrico mensal, com base em dados de janeiro de 2006 a dezembro de 2011, para o município de Paty do Alferes, RJ.

2.2 Instalação, condução e avaliação do experimento

O experimento foi instalado em dezembro de 2005 em área pertencente a empresa Rigotex Têxtil, a altitude média de 706 metros. A utilização anterior da área era de pastagem com predominância de *Melinis minutiflora* (capim gordura) e *Imperata exaltata* (sapê). Apresenta declividade média de 35% e análise expedita classificou a textura do solo, da camada de 0-40 cm, como de argilosa.

Foram utilizadas mudas produzidas em tubetes de 56 cm³ de sete materiais genéticos de eucalipto, os quais constituem os tratamentos. As informações sobre procedência e grau de melhoramento encontram-se na Tabela 1. As sementes foram adquiridas do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) e as mudas produzidas no viveiro florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As mudas de clones do viveiro *Eucalyptus* sp., localizado em Roseira – SP.

Tabela 1. Materiais genéticos utilizados na área experimental em Paty do Alferes – RJ.

Material Genético	Procedência	Nível de Melhoramento
Clone amarelo - <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i>	-	-
Clone branco - <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i>	-	-
<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Ititrapina – SP	PSM (F2)
<i>Eucalyptus grandis</i>	Anhembi – SP	APS (F1)
<i>Eucalyptus pellita</i>	Anhembi – SP	APS (F1)
<i>Eucalyptus saligna</i>	Anhembi – SP	APS (F1)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	Anhembi – SP	APS (F1)

Em que: APS = Área de Produção de Sementes; PSM = Pomar de Sementes por Mudanças; F1 = 1ª geração; F2 = 2ª geração.

No início de dezembro de 2005, toda a área foi roçada, com o corte das plantas herbáceas. Com base nas características visuais da área, resultados da análise química do solo (Tabela 2) e conhecimentos gerais sobre as exigências nutricionais de eucalipto foi aplicado calcário calcítico (CaO = 45% ; MgO = 3%, PRNT = 87%) a lanço na área experimental, na dose de 1,5 t.ha⁻¹. Em seguida, as covas foram marcadas, no sentido do nível do terreno, adotando o espaçamento 3 x 2 m, realizado o coroamento (raio de 80 cm), abertas as covas, manualmente, com dimensões de 25 x 25 x 25 cm; aplicada adubação de plantio na dose de 200 gramas de N-P-K (04-30-04) + 0,4% de Zn por cova e no final da sequência, o plantio das mudas.

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental, camada de 0 - 25 cm, em Paty do Alferes, RJ.

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC (T)	V	m
	mg .dm ⁻³		-----cmol _c .dm ⁻³ -----					----- % -----	
3,9	0,1	12,5	0,3	0,1	1,6	4,95	4,98	3	98

pHem água , KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5; P e K -extrator Mehlich1; Ca,Mge Al –Extrator: KCl 1,0 mol/L; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – ph 7,0; CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m= Índice de Saturação de Alumínio.

O experimento foi instalado com delineamento em blocos casualizados com três repetições, totalizando 21 unidades amostrais de 35 mudas (5 linhas por 7 covas de plantio), correspondendo a área de 0,45 hectare. É importante ressaltar que este experimento foi conduzido em conjunto com uma área de implantação de povoamento comercial de *Eucalyptus pellita* de aproximadamente 21,0 hectares.

Considerando que a taxa de sobrevivência das plantas de eucalipto tem forte dependência das condições climáticas (STAPE et al., 2010; BORGES, 2012), na Tabela 3 são apresentados dados de precipitação total, de temperatura média máxima, de umidade relativa do ar média e o total de insolação das primeiras semanas posteriores ao plantio.

Tabela 3. Precipitação total (P), temperatura média máxima (T), umidade relativa do ar média (UR) e total de insolação (I), das primeiras semanas posteriores ao plantio dos sete materiais genéticos de eucalipto, em Paty do Alferes, RJ.

Semana	P(mm)	T(°C)	UR (%)	I (horas)
1 ^a	61,9	25,0	83,2	13,9
2 ^a	39,8	29,1	73,5	37,0
3 ^a	23,4	28,6	77,1	41,2
4 ^a	29,1	29,3	75,6	45,3
5 ^a a 8 ^a	116,2	29,6	70,2	47,6

Fonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO) – Campo experimental de Avelar - Coord.: 22°21'S - Long.: 43°25'W - Alt.: 507 metros.

A condução do experimento, exceto as avaliações, ocorreu da mesma maneira que do povoamento comercial. O controle das formigas cortadeiras foi realizado antes, durante e até 6 meses após o plantio, com uso de isca formicida. O controle das plantas daninhas foi realizado com coroamento aos 45 dias e 6 meses após o plantio, roçada e coroamento aos 3 e 12 meses após o plantio. As adubações de cobertura foram realizadas aos 3, 6 e 12 meses após o plantio (juntamente com controle de plantas daninhas) com aplicação, respectivamente de 60, 90 e 150 gramas de N-P-K (20-05-20) por planta.

A sobrevivência foi realizada dois meses após o plantio, contando-se o número de plantas mortas ou secas em cada unidade amostral, resultando em valores percentuais de plantas vivas.

Aos 18 e 80 meses após o plantio foi realizada a medição da circunferência a 1,30 metro da superfície do solo (CAP) e da altura total de 15 árvores (caso não tenha ocorrido falha) de cada unidade amostral. Foram desconsideradas as plantas das bordaduras. O CAP foi medido com fita métrica e a altura de 18 meses com vara dendrométrica e a segunda medição com hipsômetro. Os dados de CAP foram transformados para diâmetro (DAP), pela relação $DAP = CAP / \pi$.

Na medição realizada aos 80 meses após o plantio, selecionaram-se, em cada unidade amostral, duas árvores médias (com base nos valores mais próximos dos valores de DAP e de altura total médios) para serem abatidas, para realizar a cubagem rigorosa e determinar a biomassa de lenho (madeira com casca). Assim, para cada material genético foram abatidas seis árvores, totalizando 42 árvores cubadas.

As árvores foram desgalhadas e a cubagem rigorosa foi realizada com a medição da circunferência da árvore a cada dois metros. Em seguida foram retirados discos na base, 25%, 50%, 75% e em 100% da altura comercial (diâmetro > 4,9 cm) para medir a espessura da casca, para obter o volume com casca e sem casca.

Em laboratório, calculou-se o volume de cada árvore pelo somatório dos volumes nos intervalos de medição empregados, de acordo com a fórmula de Smalian (SOARES et al., 2006), mostrada na Equação 1.

$$V = \frac{(AS_1 + AS_2)}{2} \times L \text{ (Equação 1)}$$

Onde: V= Volume (m³); AS₁= Área basal da base; AS₂= Área basal da ponta; L= 2 (comprimento da seção de madeira (m));

Com base nos dados de volume médio com casca, foi estimada a produtividade média de madeira de cada material genético, aos 80 meses após o plantio. Para isso, a fim de padronização e comparação, foi estabelecida a taxa de sobrevivência de 95% para todos os materiais genéticos, obtendo assim 1.583 árvores por hectare.

Após a medição das circunferências das árvores a cada dois metros, para a cubagem rigorosa, estas foram cortadas em toretes que pudessem ser pesadas em balança no campo.

No mesmo dia os discos foram levados para o laboratório e pesados para obtenção do peso verde do lenho. Estes materiais foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa a 65° C, onde permaneceram (4 a 6 dias) até obtenção de peso constante. Em seguida, foram pesados em balança de precisão, obtendo-se o peso de matéria seca das amostras de cada árvore abatida. Com base no peso de matéria verde e peso de matéria seca das amostras e o peso do lenho no campo, obteve-se a biomassa de matéria seca do lenho de cada árvore de material genético de eucalipto.

Foram retirados pedaços de madeira com casca, com instrumento cortante, dos discos de lenho de cada árvore que foram secos em estufa, os quais foram picados em fragmentos menores, misturados e moídos para serem levados ao laboratório para determinação dos teores de N, P e K.

Em laboratório, o material seco foi pesado, moído e submetido à digestão nitroperclórica. Nos extratos, foram determinados os teores de K por fotometria de emissão de chama (TEDESCO et al., 1995), o de P por colorimetria (BRAGA e DEFELIPO, 1974). Os teores de N foram determinados pelo método de Kjeldhal.

De posse dos dados da concentração de N, P e K do lenho, estimou-se o conteúdo destes três nutrientes, multiplicando-se o seu teor pelo peso de matéria seca do lenho de cada da árvore. A eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) foi calculada pela relação matéria seca do lenho (kg.ha⁻¹) / conteúdo do nutriente no lenho (kg.ha⁻¹), descrita por Barros et al. (1986).

Todos os dados foram submetidos a teste de homogeneidade de variância dos tratamentos e de normalidade dos dados, constando não haver necessidade de transformação. Em seguida, à análise de variância ao nível de 5% de significância e, quando detectados diferenças significativas, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis estudadas não apresentaram diferenças significativas em relação aos blocos. Isto ocorreu provavelmente devido ao experimento ser instalado em uma encosta de declividade aparentemente regular (com poucas oscilações de relevo) em terço médio superior. Caso o experimento fosse instalado no terço superior e parte no planalto provavelmente iria ocorrer diferenças, conforme observado em trabalho desenvolvido por Abel (2012) com *Eucalyptus urophylla* x *E.grandis*, em condições edafoclimáticas semelhantes ao deste trabalho.

Constata-se pela Tabela 4 que clone amarelo, clone branco, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* apresentaram percentual de sobrevivência significativamente superiores aos demais materiais genéticos, avaliado aos dois meses após o plantio.

Tabela 4. Percentual de sobrevivência de sete materiais genéticos de eucalipto aos 2 meses após o plantio, cultivados em Paty do Alferes, RJ.

Material genético	Sobrevivência (%)
Clone amarelo	98,9 a
Clone Branco	98,9 a
<i>E. grandis</i>	98,9 a
<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	96,8 a
<i>E. saligna</i>	94,6 b
<i>E. urophylla</i>	94,6 b
<i>E. pellita</i>	91,4 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferenciaram entre si pelo Teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

A maior taxa de sobrevivência dos referidos materiais genéticos é devido provavelmente à presença de *Eucalyptus grandis* nestes materiais. Segundo Ferreira (1979), originalmente esta espécie ocorre em locais que a deficiência do solo não ultrapassa quatro meses e Barros et al. (1990a) mencionam que essa espécie tem melhor comportamento em locais com menor deficiência hídrica, conforme também observado por Morais et al. (1990). Assim, devido a ter chovido logo após o plantio relativamente bem na região (Tabela 3), bem como pelos dados históricos nos dois meses posteriores ao plantio, não é comum ocorrer déficit hídrico no solo (Figura 1); fato que favoreceu a superioridade em sobrevivência dos materiais genéticos com *E. grandis* em sua constituição. Coutinho et al. (2004) testando dez espécies de eucalipto na Zona da Mata Pernambucana, observaram taxa de sobrevivência superior a 95% para todas as espécies, aos 12 meses após o plantio. O mesmo foi verificado por Drumond et al.

(1998) com teste de espécies e procedências de eucalipto nos tabuleiros costeiros de Sergipe, na mesma idade. Também atribuem este alto valor à boa precipitação na região até os cinco meses após o plantio.

Durante o período de formação do povoamento deste experimento, foi realizado eficiente controle das formigas cortadeiras e das plantas daninhas indicando que estes fatores não influenciaram na taxa de sobrevivência. Geralmente em empresas florestais, o replantio é necessário quando a taxa de mortalidade for maior ou igual a 5%. Assim, as espécies *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. pellita* necessitariam de replantio, aumentando os custos de formação do povoamento florestal e podendo haver queda na qualidade destes por existir maior percentagem de árvores suprimidas. Esses valores inferiores de sobrevivência dos três materiais genéticos indicam que estes não se adaptaram bem as condições edafo-climáticas da região, onde foi instalado o experimento. Drumond et al. (1998) e Coutinho et al. (2004) encontraram valores superiores a 95% de sobrevivência para todos os materiais genéticos, incluindo *E. pellita*, evidenciando a importância do ambiente no estabelecimento das plantas de eucalipto.

É importante destacar que, em média, a taxa de sobrevivência foi superior a 95%, devido à boa precipitação, aliado aos dias nublados (baixa insolação) e alta umidade relativa do ar na 1ª semana após o plantio (Tabela 3), pois segundo Stape et al. (2010) as plantas de eucalipto são bastante exigentes em água em todo o ciclo, principalmente na fase de estabelecimento. Borges (2012) mostra que existe correlação negativa entre o estabelecimento de eucalipto e insolação diária. Estes resultados evidenciam a importância de realizar o plantio em épocas chuvosas e em dias nublados, para todos os materiais genéticos.

Observa-se na Tabela 5, aos 18 meses após o plantio, que as médias de diâmetros do clone Branco, do *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* e do clone amarelo foram significativamente superiores (Figura 2), colaborando com as informações da Tabela 4, que os materiais genéticos que apresentam *E. grandis* em sua constituição estão conseguindo melhor estabelecimento e crescimento inicial.

Tabela 5. Valores médios de altura total e de diâmetro à altura de 1,30 metro da superfície do solo (DAP) de sete materiais genéticos de eucalipto, aos 18 meses e aos 80 meses após o plantio, em Paty do Alferes, RJ.

Material genético de eucalipto	----- 18 meses -----		----- 80 meses -----	
	Altura (m)	DAP (cm)	Altura (m)	DAP (cm)
<i>E. grandis</i>	6,1 b	4,8 b	24,1 a	15,2 a
<i>E. saligna</i>	6,7 a	4,5 b	23,5 a	15,1 a
Clone amarelo	6,5 a	5,1 a	23,4 a	15,0 a
Clone branco	6,2 b	5,3 a	21,6 a	14,4 a
<i>E. urograndis</i> *	5,2 d	5,2 a	20,3 b	14,3 a
<i>E. urophylla</i>	5,7 c	4,7 b	19,7 b	14,1 a
<i>E. pellita</i>	4,6 e	3,7 c	16,7 c	10,1 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade.

As plantas de *E. pellita* apresentaram valores médios significativamente inferiores aos demais, aos 18 meses após o plantio. Drumond et al. (1998) em teste de espécies e procedências de eucalipto na região de Tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe, constataram que *E. pellita* aos 12 meses após o plantio está no grupo das espécies de melhor crescimento. Estes autores encontraram valores médios de DAP

para *E. pellita* com 4,3 cm, superior ao deste trabalho que é de 18 meses, evidenciando que essa espécie não apresentou bom crescimento inicial em Paty do Alferes, RJ.

Aos 80 meses, apenas *E. pellita* foi estatisticamente inferior, com 10,0 cm de DAP. Os demais materiais genéticos fizeram parte de um único grupo. Isso demonstra que, ao decorrer do tempo, a maioria dos materiais genéticos conseguiram obter bom crescimento no local e apresentar crescimento diamétrico semelhante, com valores em torno de 15 cm. Drumond et al. (1998) trabalhando com *E. grandis*, *E. pellita* e *E. urophylla* e Magalhães et al. (2007) com *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla* não observaram diferenças significativas de DAP aos 8,0 e 9,4 anos após o plantio, respectivamente, evidenciando que o ambiente tem menor influência no crescimento na fase adulta das plantas de eucalipto, do que na fase de estabelecimento (sobrevivência e o crescimento inicial).

Observa-se ainda pela Tabela 5 que os eucalipto clone branco (6,7 m) e clone amarelo (6,7 m), aos 18 meses, apresentaram os melhores resultados de crescimento em altura.

O rápido crescimento inicial em altura é uma das melhores estratégias para auxiliar no controle das plantas daninhas que é uma das etapas do controle cultural (FERREIRA et al., 2010), evidenciando a importância de usar materiais genéticos bem adaptados para obter menores tratos culturas e com isso menor custo na formação do povoamento florestal, além de favorecer obtenção de maiores produtividades. Devido à proximidade entre as médias no crescimento em altura aos 18 meses, houve maior formação de grupos, o que posicionou *E. grandis* e *E. urophylla* x *E. grandis* em um segundo grupo de maior crescimento. Este comportamento intermediário de altura de *E. grandis* e de diâmetro (Figura 2), aos 18 meses, provavelmente é devido a região sofrer com déficit hídrico entre maio e setembro (Figura 1), pois conforme já mencionado esta espécie prefere regiões sem déficit hídrico.

Para altura média aos 80 meses, constata-se que o clone branco e clone amarelo mantiveram sua superioridade desde a fase inicial e foram alcançados em crescimento pelos materiais genéticos *E. grandis*, e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (21,6 m). Isso indica que esses dois últimos foram capazes de se estabelecer no ambiente e explorar os recursos do meio ao ponto de se igualarem aos dois clones, até o período de corte. *E. pellita* apresentou valores de crescimento significativamente inferior desde aos 18 e 80 meses, evidenciando que não se adaptou as condições edafoclimáticas da região onde foi implantado o povoamento.

Verifica-se pela Tabela 6 que, em média as plantas de *E. grandis*, clone amarelo e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* foram significativamente superiores nas características de volume e de biomassa de lenho aos 80 meses após o plantio, em relação aos demais materiais genéticos.

As plantas de *E. pellita* obtiveram menor produção volumétrica em virtude dos menores valores médios de DAP e de altura (Figuras 2 e 3).

Para a produção de lenho, plantas de *E. grandis*, clone amarelo e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* apresentaram valores médios significativamente superiores. Esse resultado indica boa aptidão para produção de madeira desses materiais. No entanto, é preciso verificar se as boas características de crescimento estão associadas a boas características tecnológicas para uso energético, como densidade aparente, alto teor de carbono fixo, alto rendimento em carvão vegetal e baixo teor de cinzas, dentre outras.

Tabela 6. Características de crescimento de materiais genéticos de eucalipto aos 80 meses após o plantio, cultivados em Paty do Alferes, RJ.

Material Genético de eucalipto	Volume (m ³ / árvore)		Lenho (kg / árv.)	Por hectare		IMA* (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
	Com casca	Sem casca		Volume (m ³)	Lenho (ton.)	
<i>E. grandis</i>	0,20 a	0,16 a	121,4 a	318,4 a	192,1 a	46,8
Clone amarelo	0,18 a	0,16 a	120,5 a	284,5 a	190,8 a	41,8
<i>E. urograndis</i> **	0,18 a	0,15 a	132,1 a	286,4 a	209,2 a	42,1
Clone branco	0,15 b	0,13 b	77,5 b	234,8 b	122,7 b	34,5
<i>E. saligna</i>	0,14 b	0,12 b	74,3 b	225,9 b	117,6 b	33,2
<i>E. urophylla</i>	0,13 b	0,11 b	62,9 b	212,2 b	99,5 b	31,2
<i>E. pellita</i>	0,08 c	0,06 c	44,1 b	121,6 c	69,7 b	17,9

*Incremento médio anual; ***Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferenciaram entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade.

Quanto ao volume por hectare e à produção de madeira por hectare, a resposta foi semelhante ao volume por árvore, quando se comparam os grupos formados entre os materiais genéticos, em que *E. grandis*, clone amarelo e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* foram superiores aos demais materiais genéticos. Ao calcular o incremento médio anual (Tabela 6) obtém-se valores relativamente altos, superiores a média nacional, que é de 40,1 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (ABRAF, 2013), evidenciando a boa adaptação destes três materiais genéticos na região de Paty do Alferes, RJ.

Os resultados de volume e de biomassa, juntamente com a sobrevivência, DAP e altura demonstram que *Eucalyptus grandis*, clone amarelo, *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* foram os materiais genéticos mais bem adaptados a região, mesmo sendo cultivado em solo pobre em nutrientes (Tabela 2) para a cultura do eucalipto. Além de ser pobre em nutriente, a área experimental foi uma encosta, e conforme relatado por Abel (2012), trabalhando em Além Paraíba, MG (região próxima ao deste trabalho) com *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, estes crescem relativamente menos em área de encosta do que nas áreas de planalto. Isto indica que, caso estes materiais genéticos de maior produtividade sejam cultivados nas áreas de planaltos (altos dos morros) ou de baixadas com boa drenagem, o crescimento deve ser ainda maior.

E. pellita obteve o menor valor médio em volume por hectare e com isso resultou em incremento médio anual de 17,9 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, não sendo indicado para cultivo na região do médio Paraíba do Sul, RJ e áreas adjacentes, pelas características de crescimento. Trabalhos evidenciam que *E. pellita* apresentam crescimento relativamente inferiores a outras espécies de eucalipto. Gomes et al. (1981) comparando o crescimento de 57 espécies e procedências de eucalipto, aos 6,5 anos após o plantio, em 30 localidades de Minas Gerais e São Paulo, constataram que os materiais genéticos de *E. grandis* estão entre os que apresentaram o maior crescimento. Verificaram também que *E. saligna* está no bloco intermediário superior e *E. pellita* no bloco intermediário inferior, em termos de crescimento, quando comparado com as outras espécies. Bernardo et al. (1998) observaram na região de cerrado de Minas Gerais, onde apresenta elevado déficit hídrico no solo na maior parte do ano, que *E. urophylla* apresentou maior crescimento do que *E. pellita* aos 41 meses após o plantio, nos três espaçamentos testados, e atribuem tal fato ao crescimento radicular mais profundo da primeira espécie.

É importante ressaltar que as condições climáticas, principalmente o regime de chuvas, têm sofrido alterações nos últimos três anos, com menor precipitação na região sudeste do Brasil. Assim, os resultados apresentados neste trabalho podem ter outro

comportamento, principalmente os materiais genéticos formados com *E. grandis*, por ser espécie bastante exigente em umidade do solo.

O conteúdo de N, P e K do lenho (Tabela 7) seguiu o padrão da produção da biomassa (Tabela 6), pois este é resultado da concentração de nutrientes multiplicado pela biomassa, exceto para *E. saligna*. Esta espécie apresentou valores relativamente altos de concentração dos três nutrientes no lenho, por isso, estando agrupada entre os materiais genéticos de maior conteúdo de nutrientes. Aparentemente, é interessante materiais genéticos que apresentem menores conteúdos de nutrientes no lenho, para que na colheita ocorra menor exportação de nutrientes (Neves, 2000) e com isso menor necessidade de adubação; seja na reforma (novo plantio) ou condução por talhadia do povoamento de eucalipto.

Tabela 7. Conteúdo de nutrientes no lenho e eficiência de utilização de nutrientes (EUN) em sete materiais genéticos de eucalipto aos 80 meses após o plantio, cultivados em Paty do Alferes, RJ.

Material Genético	Conteúdo			EUN		
	----- kg / ha -----			-- kg de lenho/kg de nutriente --		
	N	P	K	N	P	K
<i>E. grandis</i>	129,6 a	16,4 a	126,1 a	1.476 a	12.236 a	1.516 a
Clone amarelo	140,4 a	15,3 a	140,8 a	1.402 a	12.803 a	1.505 a
<i>E. urograndis</i> *	187,0 a	14,8 a	133,9 a	1.087 b	13.594 a	1.551 a
Clone branco	82,1 b	7,9 b	79,7 b	1.501 a	15.446 a	1.542 a
<i>E. saligna</i>	122,8 a	14,2 a	113,6 a	984 b	8.535 b	1.074 a
<i>E. urophylla</i>	75,1 b	7,2 b	67,8 b	1.312 a	13.704 a	1.506 a
<i>E. pellita</i>	62,9 b	6,5 b	49,3 b	1.112 b	10.799 b	1.410 a

**Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Médias seguidas pela mesma letra não diferenciaram entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade.

Do ponto de vista nutricional, segundo Barros et al. (1990b) e Neves (2000), é interessante em sítios com condições desfavoráveis de fertilidade, como por exemplo deste trabalho (Tabela 2), materiais genéticos com boa capacidade de produção em baixa quantidade de nutrientes, refletida por maior eficiência de utilização de nutrientes (EUN). Assim, constata-se pela Tabela 7 que *E. grandis*, clone amarelo, clone branco e *E. urophylla* são os materiais genéticos mais eficientes nutricionalmente neste sítio localizado na região hidrográfica do médio Paraíba do Sul, RJ.

As maiores eficiências de utilização de N e P foram encontradas nos materiais genéticos de maior produção (Tabelas 5 e 6), evidenciando que estes adaptaram melhor ao ambiente. Segundo Santana et al. (2002), estas variações ocorrem devido às características intrínsecas do material genético; a não obtenção do equilíbrio nutricional ótimo ou crítico entre solo, planta e todos os nutrientes, e as relações hídricas. Estes autores observaram que as procedências de *E. grandis* estudadas obtiveram maior EUN do que as de *E. saligna*, o que foi evidenciado neste trabalho, quando compara as duas espécies em termos de EUN.

Torna-se necessário verificar se as boas características de crescimento estão associadas a boas características tecnológicas da madeira para produção de energia, visto que a maior demanda do Estado do Rio de Janeiro é para fins energéticos (Poyry Silviconsult, 2012).

4. CONCLUSÕES

Entre os materiais genéticos testados e as condições climáticas durante a condução do experimento, *Eucalyptus grandis*, clone amarelo e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em termos de crescimento são os mais recomendados para cultivo na região do Médio Paraíba do Sul e adjacências, sendo *E. pellita* o menos recomendado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, E. L. S. **Influência da topografia e da fertilização fosfatada sobre o crescimento de *Eucalyptus urophylla* E. *grandis***. 2012. 34p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas **Anuário estatístico da ABRAF**. Brasília: ABRAF, 2013. 167 p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>> Acesso em: 10/01/2014.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa v. 10, n. 1, p. 112-120, 1986.

BARROS, N. F.; CARDOSO, J. R.; MACEDO, P. R. O. Algumas relações solo-eucalipto em suas condições naturais. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990a.p. 1-24.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990b. p. 127-186.

BERNARDO, A. L.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; HARRISON, R. B.; FIRME, D. J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amesterdan, v. 104, n. 1, p. 1-13, 1998.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 6, n. 4, p. 73-85, 1974.

BORGES, J. S. **Modulador edáfico para uso em modelo ecofisiológico e produtividade potencial de povoamentos de eucalipto**. 2012. 70 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COUTINHO, J. L. B.; SANTOS, V. F.; FERREIRA, R. L. C.; NASCIMENTO, J. C. B. Avaliação do comportamento de espécies de *Eucalyptus* spp. na Zona da Mata Pernambucana. I: Resultados do primeiro ano - 2001. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 771-775, 2004.

DEL QUIQUI, E. M; MARTINS, S. S; SHIMIZU, J. Y. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R.; CARVALHO, O. M. Comportamento silvicultural de espécies e procedências de *Eucalyptus* na região dos tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p.133-142, 1998.

FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, F. A.; TUFFI SANTOS, L. D. **Manejo Integrado de Plantas Daninhas na cultura do Eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, 1979. 17p. - Circular técnica n. 47.

GOMES, J. M.; PEREIRA, A. R.; BRANDI, R. M.; MACIEL, L. A. F. Variação do crescimento de espécies e procedências de eucalipto cultivadas na região de Viçosa, MG. **Revista árvore**, Viçosa, v.5, n. 2, p. 233-249, 1981.

INMET/MAARA. **Boletim Agrometeorológico**(1974 - 1993). Rio de Janeiro, 1995 (Relatório Interno).

MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; YOSHITANI JR., M. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região noroeste de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**.2.ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MORAIS, E. J.; BARROS, N. F.; BRANDI, R. M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 353-362, 1990.

MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interação progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. **ScientiaForestalis**, Piracicaba v. 39, p. 53-63, 1988.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

POYRY SILVICONCONSULT. **Estudo de Mercado: Consumo de Produtos de Base Florestal**. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN). Curitiba, 25 p., 2012. Relatório Técnico.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

RIO DE JANEIRO. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Fórum para o desenvolvimento da Região Centro-Sul Fluminense - subsídios para debates e informações gerais. Rio de Janeiro: Banerj / Jornal do Brasil, 80 p., 1992.

RIO DE JANEIRO. Assembléia Legislativa Lei Nº 5067 de 09 de julho de 2007. Dispõe sobre o zoneamento ecológico-econômico do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://www.alerj.rj.gov.br/processo2.htm>> Acesso em: 16 de setembro 2014.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. **New Zeland Journal of Forestry Science**, Heidelberg, v. 30, n. 1, p. 225-236, 2000.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R. **BHBRASIL: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1998. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>>. Acesso em: 11/08/2014.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, R. A.; LOOS, R. A. The Brazil eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684 - 1694, 2010.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 2006. 276 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. C. **The water balance**. Centeron: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

CAPITULO II

POTENCIAL ENERGÉTICO DE SETE MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* CULTIVADOS NO MÉDIO PARAÍBA DO SUL, RJ

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial energético da madeira e do carvão vegetal derivados de sete materiais genéticos de *Eucalyptus*, implantados na região do Médio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro. Foram utilizadas quatro espécies de eucalipto, uma fonte de semente híbrida de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* e dois clones (amarelo e branco) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. O experimento foi instalado em altitude média de 706 m, em área de encosta, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Aos 80 meses após o plantio avaliou-se a densidade básica, o poder calorífico da madeira e os rendimentos em carvão vegetal, em líquido pirolenhoso, gases incondensáveis e em carbono fixo, massa específica aparente, teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinza e poder calorífico do carvão vegetal. Os resultados indicam que *E. grandis*, *E. pellita*, *E. saligna* e *E. urophylla* são os mais indicados para produção energética através da madeira e do carvão vegetal, na região do Médio Paraíba do Sul, RJ e adjacências.

Palavras chaves: seleção de espécies, qualidade carvão vegetal e energia da biomassa.

ABSTRACT

This study aimed to assess the energy potential of wood and charcoal derived from seven genetic materials associated with *Eucalyptus*, deployed in the Médio Paraíba do Sul region, state of Rio de Janeiro. Were used four eucalyptus species, a hybrid seed source of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* and two clones (amarelo and branco) of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. The experiment was conducted on average altitude of 706 m in hilly area, in a randomized complete block design with three replications. After 80 months after planting evaluated the density, the calorific value of the wood and the yields of charcoal in pyroligneous liquid, condensable gases and fixed carbon, bulk density, fixed carbon, volatiles and gray and calorific value of charcoal. The results indicate that *E. grandis*, *E. pellita*, *E. urophylla* and *E. saligna* are the most suitable for energy production through the wood and charcoal in the Médio Paraíba do Sul region, RJ and vicinity.

Keywords: species selection, quality charcoal and biomass energy.

1. INTRODUÇÃO

O uso da madeira proveniente de plantios comerciais é um importante suprimento de energia primária, principalmente no uso doméstico e industrial. Brito e Cintra (2004) apresentam informações indicando que a madeira destinada para energia soma mais da metade da biomassa florestal consumida mundialmente. O Brasil sobressai no setor mundial como maior fabricante e consumidor de carvão vegetal, sendo o único país no qual este insumo tem uma aplicação industrial em grande escala, como destino principal a produção de ferro gusa, aço e ainda ferro ligas e silício metálico (AMS, 2009).

De acordo com Brasil (2013), o consumo brasileiro total de lenha e carvão vegetal no ano de 2012 representou cerca de 8,3% da matriz energética nacional. Segundo este mesmo estudo, o país apresenta, simultaneamente, a maior produção e o maior consumo mundial de carvão vegetal, sendo que mais de dois terços são utilizados como redutor no setor siderúrgico, sobretudo no estado de Minas Gerais. Outros usos também são comuns, como o consumo residencial (cocção), pizzarias, padarias, indústrias cimenteira e de bebidas, indústria farmacêutica, fabricação de filtros e purificadores de água, dentre outras utilizações.

O carvão vegetal produzido a partir de povoamentos de eucalipto normalmente é mais homogêneo do que das florestas nativas e com boas propriedades. A qualidade da madeira é um fator importante quando o objetivo é a produção de carvão vegetal com alto rendimento e elevada qualidade. Características como densidade básica, poder calorífico, constituição química e umidade estão entre as principais para seleção da madeira para fins energéticos. O poder calorífico é uma das principais variáveis usadas para seleção de espécies com melhores características para fins energéticos, uma vez que está relacionada com a quantidade de energia liberada pela madeira durante a sua queima. Segundo Santos (2010), a quantidade de calor desprendida da madeira é muito importante para conhecer a capacidade energética de determinada espécie.

A escolha do melhor material genético deve levar em consideração as características tecnológicas da madeira, bem como a sua produtividade e efetividade técnica de produção. Portanto, deve-se avaliar, também, a produtividade dos povoamentos, como objetivo de determinar se o ganho em qualidade de madeira é superior ao ganho pela produtividade. Segundo Brito et al. (1983), o estabelecimento de povoamentos de eucalipto para fins energéticos envolve a seleção de material genético superior e adoção de técnicas silviculturais adequadas, aliando a produtividade dos povoamentos à qualidade desejada da madeira. O rendimento na produção de carvão é maximizado com o uso de madeira mais densa, de maior poder calorífico e composição química adequada, resultando normalmente em carvão de melhor qualidade (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

As propriedades do carvão vegetal são bastante variáveis, pois sofrem a influência direta da matéria prima que lhe deu origem e do processo de carbonização, aspectos de difícil controle. São muitas as variáveis da madeira que influenciam a qualidade do carvão vegetal, tais como: idade, percentagem de cerne e alburno, teor de extrativos, teor de lignina total, entre outras. Madeiras originárias de espécies com idade mais avançada apresentam maior densidade e dão origem a carvão vegetal mais denso. Portanto, deve-se considerar a densidade básica da madeira e a idade da árvore na escolha dos melhores materiais genéticos para a produção de carvão vegetal (CASTRO,

2011; PROTÁSIO et al., 2014). Essas características devem estar necessariamente associadas a uma alta produtividade (CASTRO et al., 2013).

O presente estudo teve por objetivo avaliar o potencial energético da madeira e do carvão vegetal de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* sp cultivados na região do Médio Paraíba do Sul, RJ.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em dezembro de 2005 em uma área pertencente à empresa Rigotex Têxtil, no município de Paty do Alferes, RJ. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cw subtropical, com chuvas no verão e estiagem no inverno. A precipitação média anual, para os anos de 2006 a 2012 (período do experimento), foi 1.228 mm, segundo dados da estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), localizada em Paty do Alferes.

2.1 Materiais genéticos e amostragem

Os tratamentos foram constituídos por sete materiais genéticos, com idade de 80 meses após o plantio, cujas descrições encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características de crescimento, aos 80 meses após o plantio, dos materiais genéticos utilizados na área experimental em Paty do Alferes, RJ.

Material Genético	Procedência	DAP* (cm)	HT** (m)
<i>Eucalyptus grandis</i>	Anhembi, SP	15,2	24,1
<i>Eucalyptus pellita</i>	Anhembi, SP	10,1	16,7
<i>Eucalyptus saligna</i>	Anhembi, SP	15,1	20,3
<i>Eucalyptus urophylla</i>	Anhembi, SP	14,1	19,7
<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Itirapina, SP	13,7	19,5
Clone amarelo – <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Itirapina, SP	15,0	23,4
Clone branco – <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Itirapina, SP	14,4	23,5

*Diâmetro a 1,30 m do solo; **Altura total.

As sementes dos materiais genéticos foram adquiridas junto ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) e produzidas no viveiro da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As mudas dos clones foram doadas pelo viveiro *Eucalyptus* sp., localizado em Roseira – SP. As coordenadas geográficas do plantio situam-se em 22°17'57.80 S e 43°16'19.65 O, a uma altitude de 706 m. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com sete tratamentos (materiais genéticos) e três repetições (blocos), formando 21 unidades amostrais. Em cada parcela foram utilizadas 5 linhas (em nível do terreno) com 7 covas (morro acima), perfazendo 35 covas, totalizando 525 covas de plantio.

Foram utilizados dois indivíduos com valor médio de DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) e de altura em cada unidade amostral, para a caracterização de cada um dos sete materiais genéticos estudados, totalizando 42 indivíduos. Após o abate, foram retirados seis discos de madeira de cada material genético, com aproximadamente 3

centímetros de espessura. Os discos foram retirados segundo descrições de Andrade (1993) nas seguintes alturas do fuste: 0,3 m; a 1,30 metro e os quatro restantes a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro > 4,9 cm). Ainda no campo, o material foi acondicionado em embalagens plásticas devidamente identificadas, sendo em seguida encaminhados ao laboratório, onde foram preparadas as amostras para análises.

2.2 Densidade básica da madeira e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Duas cunhas opostas, remanescentes de cada disco, foram utilizadas na determinação da densidade básica ponderada da árvore (lenho), em g/cm³, pelo método hidrostático, conforme a norma NBR 11941. A densidade relativa aparente do carvão vegetal foi determinada de acordo com a mesma norma.

2.3 Pirólise dos materiais lenhosos

Inicialmente, os discos foram quarteados para as análises físicas e termoquímicas. As amostras de madeira pertencentes a duas cunhas opostas entre si com casca foram cavaqueadas e secas em estufa regulada a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, até 0% de umidade. Em seguida, estas amostras do material absolutamente seco (a.s.) foram submetidas ao processo de pirólise, no interior de um cadinho metálico acondicionado no interior de um forno mufla, partindo-se da temperatura inicial de 30°C até 500°C , durante 5 horas. De cada material genético foram utilizadas seis árvores (repetições).

O carvão vegetal e o líquido pirolenhoso obtidos foram quantificados. Os gases incondensáveis, com alguns constituintes inflamáveis na sua composição, foram queimados na saída do sistema de condensação e quantificados por diferença de massa.

Com as respectivas massas de cada um desses produtos foi possível determinar os rendimentos gravimétricos em carvão, em líquido pirolenhoso e em gases incondensáveis. O rendimento em carbono fixo foi calculado mediante o produto do rendimento gravimétrico em carvão vegetal e o teor de carbono fixo.

2.4 Análise química imediata do carvão vegetal

A análise química imediata do carvão vegetal foi conduzida de acordo com a norma NBR 8112, para a determinação dos teores de materiais voláteis, cinza e carbono fixo.

A fração denominada material volátil é liberada durante o aquecimento do carvão vegetal, sendo constituída por moléculas de CO, CO₂ e hidrocarbonetos. Outra quantidade de carbono permanece relativamente intacta e como não sai junto com o material volátil, recebe a denominação de carbono fixo. Na prática, determina-se o teor de material volátil e carbono fixo aquecendo-se o carvão em temperatura em torno de 950°C .

A cinza é o resíduo de óxidos minerais obtidos pela combustão completa do carvão. Para assegurar a combustão completa, o carvão permanece na mufla por um período de 6 horas, sob temperatura em torno de 750°C . O resíduo oxidado obtido é calculado como teor de cinza do carvão vegetal.

2.5 Determinação do poder calorífico da madeira e do carvão vegetal

Foi determinado o poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI) da madeira e do carvão vegetal, provenientes dos sete materiais genéticos de

eucalipto. A análise do poder calorífico superior consistiu na determinação da quantidade de calor liberada pela combustão da madeira ou do carvão vegetal, no reator de uma bomba calorimétrica (adiabática), conforme a norma NBR 8633. O PCI em base seca, foi calculado com o auxílio da Equação 1, desconsiderando a quantidade de energia necessária para evaporar a água formada durante a combustão da madeira.

$$PCI_{\text{kcal/kg}} = (\text{PCS} - 25,11 \times U) / [(100 + U) \times 100] \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: U = Teor de umidade (%).

2.6 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Densidade básica da madeira e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Verifica-se pela Figura 1 que os valores médios para densidade básica da madeira de *E. urophylla* e *E. pellita* foram significativamente superiores e *E. grandis* e *E. saligna* inferiores. Constata-se que não houve diferenças significativas na densidade relativa do carvão vegetal entre os materiais genéticos. Isto, aparentemente, indica que deve-se usar para a produção carvão, materiais genéticos que apresentam maior volume, para obter o maior rendimento (m^3 de carvão vegetal).

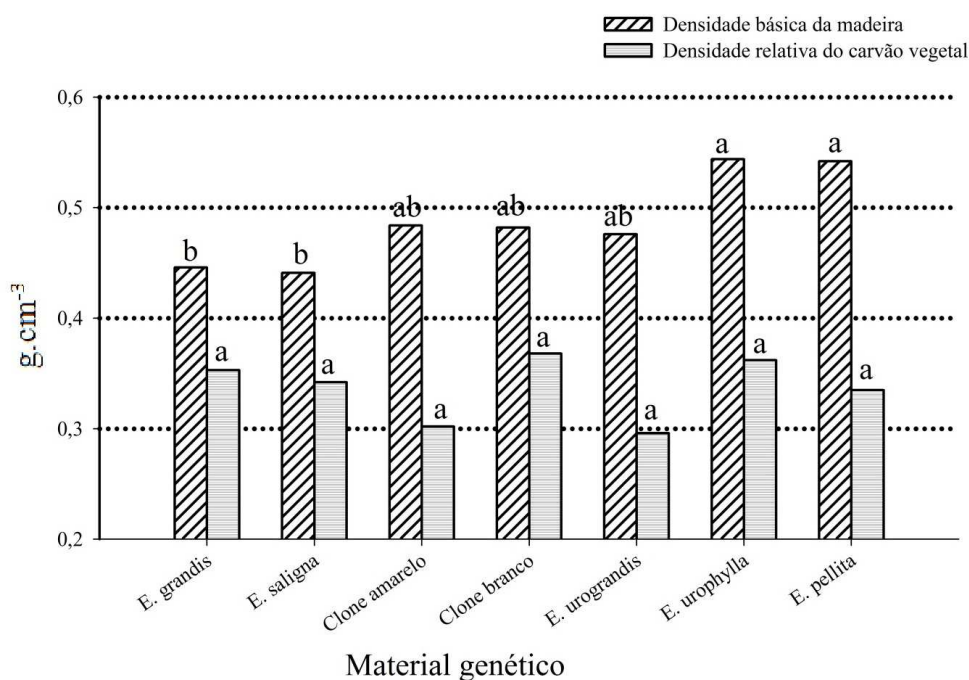


Figura 1. Valores médios da densidade básica da madeira e densidade relativa aparente do carvão vegetal, em gramas por cm^3 , de sete materiais genéticos de eucalipto, aos 80 meses após o plantio, em Paty do Alferes, RJ. Para cada característica, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Brito et al. (1983) consideraram que para a produção de carvão vegetal de boa qualidade a madeira deve apresentar densidade básica média próxima a $0,54 \text{ g.cm}^{-3}$. Sendo assim, apenas *E. urophylla* e *E. pellita* são os materiais genéticos mais indicados. No entanto, Castro (2011) menciona que apenas a densidade é um parâmetro isolado e que a qualidade do carvão vegetal está em função de outros fatores, como idade, relação alborno/cerne e do processo de carbonização. Protásio et al. (2014) encontraram valores médios de $0,458$ e $0,462 \text{ g.cm}^{-3}$ para a densidade básica média da madeira de dois clones de eucalipto aos 57 e 69 meses de idade, respectivamente, em consonância com os valores observados.

Brito e Barrichelo (1980) afirmaram que quanto maior a densidade da madeira, maior a densidade aparente do carvão vegetal e maior será a sua resistência mecânica. No presente estudo, os aumentos nas densidades das madeiras não foram acompanhados de uma forma positiva, com os aumentos nas densidades relativas do carvão vegetal. A maior densidade relativa aparente do carvão foi de $0,368 \text{ g.cm}^{-3}$ para o clone branco e $0,362 \text{ g.cm}^{-3}$ para *E. urophylla*. Os demais valores médios, não apresentaram diferenças estatísticas entre os sete materiais estudados. Estes resultados demonstram que as madeiras dos materiais genéticos avaliados podem ser utilizadas para produção de carvão vegetal.

Na utilização da madeira na forma de lenha, através da queima direta, maior densidade, normalmente resulta em combustível de maior energia concentrada, devido à maior massa de combustível contida na mesma unidade de volume (FREDERICO, 2009). Assim, desconsiderando o volume e biomassa, neste trabalho os materiais genéticos mais indicados são *E. urophylla* e *E. pellita*.

Trugilho et al. (2001) observaram que os clones que apresentaram maior densidade básica da madeira também apresentaram maior densidade aparente do carvão, sendo que os maiores valores de densidade básica da madeira e do carvão vegetal foram, respectivamente, $0,597 \text{ g/cm}^3$ e $0,486 \text{ g/cm}^3$ para os clones de *Eucalyptus grandis*, e $0,603 \text{ g/cm}^3$ e $0,491 \text{ g/cm}^3$ para os clones de *Eucalyptus saligna*. Neste trabalho isto não ocorreu.

3.2 Pirólise dos materiais lenhosos

Constata-se pela Tabela 2 que *E. saligna* apresentou o maior valor médio de rendimento em carvão vegetal (25,7%). Os demais valores para os materiais genéticos variaram entre 23,1 a 24,0%, não diferindo estatisticamente entre si e formando um único grupo.

Para o rendimento em líquido pirolenhoso foram observados três grupos, dentro dos quais *E. grandis* apresentou valor significativamente superior e *E. urophylla* x *E. grandis* valor significativamente inferior, em relação aos demais materiais genéticos. Comportamento inverso foi observado para os rendimentos médios em gases incondensáveis, sendo que *E. grandis* e *E. urophylla* apresentaram baixos valores médios em relação aos demais materiais genéticos analisados.

Quanto ao rendimento em carbono fixo, apesar da existência de três grupos, altos valores médios foram apresentados por um dos grupos, dentro do qual o *E. saligna* se destacou. O teor de carbono é muito importante, tanto para a produção de carvão vegetal quanto para a queima direta da madeira. Na queima direta, ele é totalmente consumido, enquanto na produção de carvão vegetal o carbono é convertido em carbono fixo, sendo esse o principal responsável pela energia estocada no carvão (BRITO et al., 1983).

Tabela 2. Rendimentos gravimétricos, em porcentagem, de carvão vegetal (CV), líquido pirolenhoso (LP), gases incondensáveis (GI) e carbono fixo (CF), de sete materiais genéticos de eucalipto, aos 80 meses após o plantio, cultivados em Paty do Alferes, RJ.

Material Genético	CV	LP	GI	CF
<i>Eucalyptus grandis</i>	23,4 b	45,4 a	31,1 b	21,8 a
<i>Eucalyptus pellita</i>	24,0 b	43,6ab	32,3ab	21,5 a
<i>Eucalyptus saligna</i>	25,7 a	42,3ab	32,0ab	22,2 a
<i>Eucalyptus urophylla</i>	23,8 b	44,3ab	31,8 b	21,4 a
E. urograndis*	23,3 b	40,5 b	36,2 a	20,5 ab
Clone amarelo	23,5 b	42,9ab	33,5ab	21,4 a
Clone branco	23,1 b	44,6ab	32,3ab	19,2 b

**Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 95% de probabilidade, pelo teste Tukey.

De maneira geral, pode-se afirmar que *E. saligna* foi a espécie que apresentou o melhor rendimento gravimétrico em carvão vegetal. Os menores valores dos clones eram esperados, pois estes materiais foram desenvolvidos no interior do Estado de São Paulo para a produção de celulose, onde as características tecnológicas prioritárias são diferentes do que quando se desenvolve material para a produção de carvão vegetal.

Os materiais genéticos estudados no geral obtiveram bons rendimentos tendo em vista que, para produção madeireira, destinada ao carvão vegetal e bioenergia, deve apresentar características favoráveis, como elevados valores de densidade básica e poder calorífico, baixos teores de minerais e alto teor de lignina (TRUGILHO et al., 1997; TRUGILHO et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2010; NEVES et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2012).

3.3 Análise química imediata

Verifica-se pela Tabela 3 que o clone branco foi o material genético com valor médio significativamente inferior para a variável teor de carbono fixo. Os demais formaram um único grupo superior.

Tabela 3. Análise química imediata dos carvões, em porcentagem, de sete materiais genéticos de eucalipto aos 80 meses após o plantio, cultivados em Paty do Alferes, RJ.

Material genético	Materiais voláteis	Carbono fixo	Cinzas
<i>E. grandis</i>	12,1 ab	86,2 a	1,5 c
<i>E. saligna</i>	12,3 ab	86,0 a	1,7 ab
Clone amarelo	11,1 b	87,7 a	2,0 a
Clone branco	14,8 a	84,1 b	1,3 c
E. urograndis	10,0 c	88,3 a	1,7 ab
<i>E. urophylla</i>	11,0 b	87,8 a	1,4 c
<i>E. pellita</i>	10,2 c	88,9 a	1,9 ab

**Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, na coluna, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

O material de eucalipto denominado de clone branco apresentou, além do menor valor médio de teor de carbono fixo, o menor teor de cinza, evidenciando seu potencial

para produção de bionergia. Devem-se considerar, para a utilização do carvão vegetal nas suas variadas aplicações, os teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinza, uma vez que os mesmos se relacionam com o poder calorífico, ritmo de queima e eficiência energética do carvão vegetal (OLIVEIRA et al., 2010). O conteúdo de voláteis expressa a facilidade de se queimar um material até temperaturas de aproximadamente 850 °C, por 7 minutos. A fração de carvão que permanece na amostra logo após este aquecimento é chamada de carbono fixo ou coque (NOGUEIRA et al., 2000).

De acordo com Santos (2008) o carvão vegetal para uso siderúrgico deve apresentar teor de carbono fixo entre 70% e 80%; teor de materiais voláteis variando de 25% a 35%. Assim, é possível afirmar que os sete materiais avaliados apresentaram elevados teores de carbono fixo e baixos teores de materiais voláteis, concordando com os valores encontrados por Trugilho et al. (2005), Santiago e Andrade (2005), Oliveira et al. (2010) e Neves et al. (2011), para diferentes espécies e clones de *Eucalyptus*. Os teores de cinza se mostraram altos em comparação com os valores médios observados na literatura, mas compatibilizando com os valores observados por Oliveira et al. (2010) para *E. pellita* de cinco anos de idade.

Carneiro et al. (2014) afirmam que durante a produção de carvão vegetal o carbono é convertido em carbono fixo, sendo esse o principal responsável pela energia estocada no carvão. Desta forma, quanto maior o teor de carbono fixo do carvão vegetal, maior será a sua eficiência energética, portanto apenas madeira de clone branco é o menos indicado, entre os estudados.

A influência do uso de diferentes materiais genéticos na análise química evidencia variabilidade entre os mesmos. Possivelmente, a variabilidade do poder calorífico do carvão vegetal observada neste trabalho (Tabela 4) possa estar associada à variabilidade dos teores de materiais voláteis, de carbono fixo e de cinza. Protásio et al. (2011) observaram que a cada 1% de aumento do teor de carbono ocorre um aumento de 64,14 kcal.kg⁻¹ no poder calorífico de combustíveis de biomassa.

3.4 Poder calorífico

Verifica-se pela Tabela 4 que *E. pellita* e *E. saligna* obtiveram valores médios superiores de poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) da madeira. No carvão vegetal, *E. pellita* foi a espécie que obteve menor valor de PCI, e isso demonstra que há grande influência da umidade para esta espécie. É importante notar que o PCI se refere ao calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis, enquanto o PCS é em torno de 10 a 20% mais elevado, no qual não se considera o calor latente de condensação de umidade presente nos produtos de combustão (NOGUEIRA et al., 2000).

Percebe-se, também, a ocorrência de alta variabilidade, indicando a influência dos materiais genéticos neste parâmetro energético. Para a madeira, o poder calorífico superior variou de 4.058 kcal.kg⁻¹ (clone branco) a 4.228 kcal.kg⁻¹ (*E. saligna*). Carneiro et al. (2014) avaliaram o poder calorífico superior da madeira de três clones de *Eucalyptus* aos sete anos de idade visando-se a produção de carvão vegetal e encontraram valores entre 4.542 e 4.663 kcal.kg⁻¹, um pouco superior ao deste estudo. A quantidade de calor contida na madeira e desprendida durante a sua combustão é um fator muito relevante no conhecimento da capacidade energética de determinada espécie.

Tabela 4. Poder calorífico inferior e poder calorífico superior, em quilocalorias por quilo, da madeira e do carvão vegetal de sete materiais genéticos de eucalipto aos 80 meses após o plantio, cultivados em Paty do Alferes, RJ.

Material genético de eucalipto	Madeira		Carvão	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
<i>E. grandis</i>	2287 a	4110 bc	5051 a	7487 a
<i>E. saligna</i>	2042 cd	4228 a	4674 b	7014 bc
Clone amarelo	2048 cd	4114 bc	4605 b	7317 abc
Clone branco	1988 d	4058 c	4757 a	6917 c
<i>E. urograndis</i> *	2124 b	4118 c	4878 ab	7252 abc
<i>E. urophylla</i>	2068 bc	4083 c	5052 a	7454 ab
<i>E. pellita</i>	2289 a	4209 ab	4245 c	7555 a

**Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Apesar do valor médio do poder calorífico superior do carvão vegetal do *E. pellita* ser estatisticamente igual aos valores médios apresentados por outros materiais genéticos, esta espécie apresentou um alto valor médio de poder calorífico superior ($7.555 \text{ kcal.kg}^{-1}$), de forma semelhante ao *E. grandis* ($7.487 \text{ kcal.kg}^{-1}$). Além da densidade aparente e dos resultados da análise química imediata, o poder calorífico também deve ser considerado para variadas aplicações do carvão vegetal (SANTOS, 2010).

Maiores valores de densidade básica da madeira, rendimento em carbono fixo e poder calorífico inferior do carvão para *E. urophylla* e clone amarelo são observados, sendo estes os responsáveis por um agrupamento. Nota-se, ainda, que os elevados teores de materiais voláteis para *E. saligna* e clone branco permitiram a formação de outro grupo distinto.

4. CONCLUSÕES

Entre os materiais genéticos testados e as condições climáticas durante a condução do experimento, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. saligna*, e *E. urophylla* são os mais indicados para produção energética através da madeira e do carvão vegetal, na região do Médio Paraíba do Sul, RJ e adjacências.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M. **Efeito da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto.** 1993. 105p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AMS - ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA -. **Números do setor.** Belo Horizonte: AMS, 2009. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: 21 dez. 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112 – Carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**. Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2014.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E .G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: II. densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 101-113, 1980.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F.; MIGLIORINI, A. J.; MURAMOTO, M.C. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.23, p.53-56, 1983.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. Piracicaba: IPEF, 1993. (Circular Técnica, 181).

BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. Madeira para energia no brasil: realidade, visão estratégica e demandas de ações. **Biomassa & Energia**, Brasília, v.1, n 2, p.157-163, 2004.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.2, p.375-381, 2014.

CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I.C.N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013.

CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319–330, 2011.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: ANNEL, 2000. 144p.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C.O.; VITAL, B. R. ; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para a produção de energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 15, jun./ago. 2008. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php?id=15>. Acesso em: 08 mar. 2014.

PROTÁSIO, T.P.; NEVES, T.A.; REIS, A.A.; TRUGILHO, P.F. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 465-477, 2014.

PROTÁSIO, T. P.; SANTANA, J. D. P.; GUIMARÃES NETO, R. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; TRUGILHO, P.F.; RIBEIRO, I.B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 295-07, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T.A.; VIEIRA, C.M.M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.40, n. 95, p.317-326, 2012.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2005.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010, 173p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B.R.; REGAZZI, A.J.; GOMIDE, J.L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.259-267, 1997.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J.T.; MORI, F. A.; LINO, A.L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v.7, n.2, p.104–114, 2001.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

CONCLUSÕES GERAIS

Para as condições climáticas, entre os materiais genéticos testados *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* são os mais indicados para a região do Médio Paraíba do Sul, RJ e adjacências visando rendimento e qualidade da madeira para fins energéticos. *E. pellita* é o menos recomendado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, H. B.; FRANCELINO, M. R.; SALAMENE, S.; PEDREIRA, L. O. L.; FILHO, L. I. A.; CAPITANO, R. C.; MOURA, T. A. Estimativa da área ocupada por reflorestamentos no Estado do Rio de Janeiro. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 27-32, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas regionais do Brasil 2012 (número 42)**. Rio de Janeiro: IBGE, 55 p., 2014.

MARTINEZ, D. T.; HIGA, A. R.; LINGNAU, C.; SILVA, I. C. **Escolha de espécies, planejamento e sistemas de produção para reflorestamento em pequenas propriedades no estado do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 2012. 296p.

NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N. Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse florestal no estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, n. 5. 2005.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, M. L.; SOUZA, A. L.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B. Análise econômica da implementação de projetos florestais para a geração de créditos de carbono em propriedades rurais na mata atlântica.. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, p. 9-19, 2011.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Produção de biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba n. 56, p. 155-169, 1999.

STURION, J. A.; BELLOTE, A. F. J. Implantação de povoamentos florestais com espécies de rápido crescimento. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 209 – 219. 2000.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*, plantados em Anhembi - SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p. 21-34, 1993.

TONELLO, K. C.; COTTA, M. K.; ALVES, R. R.; RIBEIRO, C. F. A.; POLLI, H. Q. O. Desenvolvimento do setor florestal brasileiro. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, n. 112, 2008.