

FERNANDO HENRIQUE DE LIMA GADELHA

**DESEMPENHO SILVICULTURAL E AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DE CLONES HÍBRIDOS DE EUCALIPTOS
PLANTADOS EM DIFERENTES REGIMES DE MANEJO
PARA FINS ENERGÉTICOS**

Recife / 2014

FERNANDO HENRIQUE DE LIMA GADELHA

**DESEMPENHO SILVICULTURAL E AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DE CLONES HÍBRIDOS DE EUCALIPTOS
PLANTADOS EM DIFERENTES REGIMES DE MANEJO
PARA FINS ENERGÉTICOS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador

Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva

Co-orientador

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Ficha catalográfica

G128d Gadelha, Fernando Henrique de Lima
Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos / Fernando Henrique de Lima Gadelha. -- Recife, 2014.
147 f.: il

Orientador(a): José Antonio Aleixo da Silva.

Tese (Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, Recife, 2014.
Inclui apêndice(s) e referências.

1. Manejo florestal 2. Viabilidade econômica
3. Dendroenergia I. Silva, José Antônio Aleixo da, orientador
II. Título

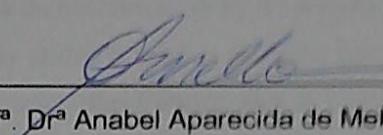
CDD 634.7

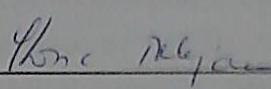
FERNANDO HENRIQUE DE LIMA GADELHA

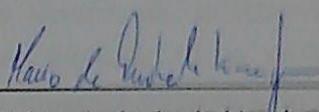
Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos

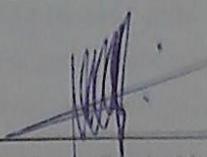
Aprovada em: 28/02/2014

Banca Examinadora

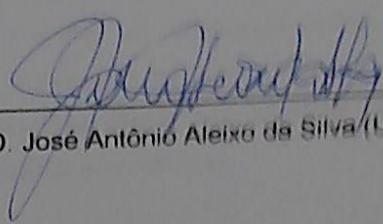

Prof.^a Dr.^a Anabel Aparecida de Mello (UFS)


Prof.^a Dr.^a Tatijana Stosic (UFRPE)


Prof. Dr Mário de Andrade Lira Junior (UFRPE)


Prof. Dr Paulo de Paula Mendes (UFRPE)

Orientador


Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

De início agradeço as forças divinas que me ajudaram a conduzir e concluir este trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais do Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio acadêmico, financeiro e administrativo necessário a realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento da fase de implantação do projeto, ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB) pelo financiamento da fase de monitoramento do projeto, ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) por ceder a área e técnicos para condução do experimento e a Associação Nacional dos Fabricantes e Comerciante de Gesso e seus Derivados (Rede Assogesso), nas pessoas do Sr. Emanuel Luiz e Sr. Pitágoras Oliveira pelo apoio dado durante todo o trabalho.

Em especial, agradeço ao Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva por todos os ensinamentos desde o curso de graduação e ao Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira pelas conversas e orientações sobre o trabalho.

Aos professores e técnicos do Departamento de Ciência Florestal, em especial ao Engenheiro Florestal Dr. e amigo José Serafim Ferraz (*in memorian*), que foi meu primeiro orientador e muito me ensinou, à Professora e amiga Rute Berger pelas conversas, pela ajuda na elaboração de trabalhos publicados durante o curso e pela ajuda na análise dos resultados finais deste trabalho e ao Prof. Dr. Daniel Alvarez pela ajuda e ensinamentos durante a coleta e análise das amostras de madeira.

Ao chefe da Estação Experimental do IPA – Araripina, Engenheiro Agrônomo José Alves Tavares por todo apoio durante a implantação, manutenção e coleta de dados do experimento e ao Engenheiro Agrônomo Dr. Antônio Raimundo por todas as conversas sobre solos, pela ajuda no planejamento, coleta e análise das amostras de solos.

Aos Estatísticos Drs. Luiz Medeiros e Joseilme Junior Gouveia pela ajuda na construção das equações volumétricas.

Agradeço também aos amigos e colegas do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, em especial a Francisco Sales (Chicão), Rubeni Cunha, Paulo Karas, Jadson Abreu, Robson Lima, Guera Ouorou e Robson Carmo pela ajuda na coleta de dados e pelo companheirismo durante o curso e companhia durante as viagens e aos amigos e estudantes de graduação Lucicleiton Melo, Jefferson Vanzella, Flávio Barbosa, Jean Gueiros e Guilherme Henrique pela ajuda na análise, digitação dos dados.

Aos amigos e Engs Florestais Victor Maurício e Felipe Gomes pela ajuda na coleta de dados e companhia durante as viagens.

Agradeço aos meus pais, Josefa de Lima Gadelha e Fernando Soares Gadelha por todo apoio que sempre me deram e pelos sacrifícios que fizeram por mim desde o começo da minha vida acadêmica e ao meu irmão, Antônio Cezar de Lima Gadelha pela ajuda na digitação de parte dos dados e a minha sobrinha Ana Clara Gadelha por, mesmo sem saber, dá-me muita força para continuar a caminhada.

Também agradeço de forma especial a minha esposa Letícia Almeida de Paula por todo companheirismo, paciência e incentivo para a realização deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Silvicultura do eucalipto	18
2.2	Florestas energéticas	20
2.3	Energia da biomassa florestal	23
2.4	Crescimento, espaçamento e rotações em povoamentos florestais	25
2.5	Modelagem da produção florestal	27
2.6	Modelos simétricos	28
2.7	Características energéticas da madeira	30
2.8	Viabilidade econômica de projetos florestais	32
3	OBJETIVOS	33
3.1	Objetivo geral	33
3.2	Objetivos específicos	33
4	METODOLOGIA	34
4.1	Local do experimento	34
4.2	Características do experimento	34
4.3	Medição do experimento e cubagem rigorosa das árvores	37
4.4	Modelagem do volume	37
4.5	Determinação da densidade básica da madeira (DBM)	41
4.6	Determinação do poder calorífico (PCS)	41
4.7	Determinação do teor de cinzas (TC)	41
4.8	Características físicas e químicas do solo	42
4.8.1	Análises Físicas	43
4.8.2	Análises Químicas	44
4.9	Delineamento experimental	44
4.9.1	Crescimento ao longo do tempo	44
4.9.2	Taxa de sobrevivência, características energéticas da madeira e químicas solo	47
4.10	Avaliação econômica	48
4.10.1	Valor presente líquido (VPL)	48
4.10.2	Razão benefício/custo (B/C)	48
4.10.3	Custo Médio de Produção (CMP _r)	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	Crescimento ao longo do tempo no primeiro experimento (Clone x Espaçamento)	50
5.2	Crescimento ao longo do tempo no segundo experimento (Clone x Sistema de Manejo)	58
5.3	Modelagem do volume	65
5.4	Características energéticas da madeira do primeiro experimento (Clone x Espaçamento)	82
5.5	Avaliação da madeira do segundo experimento (Clone x Sistema de Manejo)	90
5.6	Caracterização do solo	95
5.6.1	Análise do perfil do solo	95
5.6.2	Caracterização química dos solos	101
5.7	Avaliação econômica	109
6	Conclusões	120
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Comparação das características ligadas à produção de madeira e do aproveitamento dos resíduos florestais e agrícolas para produção de energia.	21
Tabela 2: Precipitação pluviométrica no município de Araripina - PE.	34
Tabela 3: Descrição dos tratamentos avaliados no Módulo de Experimentação Florestal do Polo Gesseiro do Araripe (Experimento 01), em Araripina –PE. ...	36
Tabela 4: Descrição dos tratamentos avaliados no Módulo de Experimentação Florestal do Polo Gesseiro do Araripe (Experimento 02), em Araripina –PE. ...	36
Tabela 5: Distribuição das árvores amostras por classe de diâmetro e de altura, cubadas rigorosamente para construção de equações volumétricas.	38
Tabela 6: Modelos volumétricos ajustados para estimar o volume (m ³) de clones de eucaliptos cultivados em diferentes espaçamentos e em dois sistemas de manejo.	38
Tabela 7: Teste de esfericidade de Mauchly para o volume (m ³ /ha) de três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio. ...	50
Tabela 8: Análise de variância para o efeito dos tratamentos (clones x espaçamento).	51
Tabela 9: Análise de variância para o efeito do tempo e as interações tempo x clone, tempo x espaçamento e tempo x clone x espaçamento.	51
Tabela 10: Teste de hipótese do efeito do tempo para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.	52
Tabela 11: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x espaçamento para variável volume de madeira dos clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.	52
Tabela 12: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone para variável volume de madeira dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.	52
Tabela 13: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone x espaçamento para variável volume de madeira dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.	53
Tabela 14: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m ³ /ha) por espaçamento ao longo do tempo para clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.	54
Tabela 15: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m ³ /ha) ao longo do tempo dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.	55
Tabela 16: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para a sobrevivência média dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.	57
Tabela 17: Teste de esfericidade de Mauchly para o volume de madeira de três clones de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e talhadia.	59
Tabela 18: Análise de variância para o efeito dos tratamentos (clones x sistema de manejo).	59
Tabela 19: Análise de variância para o efeito do tempo e as interações tempo x clone, tempo x sistema de manejo e tempo x clone x sistema de manejo.	59

Tabela 20: Teste de hipótese do efeito do tempo para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e de talhadia.....	60
Tabela 21: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x sistema de manejo para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e de talhadia.....	60
Tabela 22: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e de talhadia.	60
Tabela 23: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone x sistema de manejo para variável volume de madeira dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.....	61
Tabela 24: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m ³ /ha) ao longo do tempo para os três clones de eucaliptos.	62
Tabela 25: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m ³ /ha) ao longo do tempo para os três clones de eucaliptos cultivados em dois sistemas de manejo.	62
Tabela 26: Análise de variância para os volumes cubados pelo método de Smalian para árvores de três clones de <i>Eucalyptus</i> plantados em cinco densidades populacionais.	65
Tabela 27: Teste de Scott Knott para volume médio por árvores de três clones de <i>Eucalyptus</i> spp. plantados em cinco densidades populacionais.	66
Tabela 28: Coeficientes e estatísticas das equações testadas para a estimativa de volume dos clones que compõe o grupo A, plantados em diferentes densidades populacionais.	67
Tabela 29: Análise de variância comparando os volumes observados versus os volumes estimados pelas equações ajustadas para os tratamentos que compõe o Grupo A, de três clones de <i>Eucalyptus</i> spp. plantados em diferentes densidades populacionais.	71
Tabela 30: Coeficientes e estatísticas das equações testadas para a estimativa de volume dos clones que compõe o grupo B, plantados em diferentes densidades populacionais.	72
Tabela 31: Análise de variância comparando os volumes observados versus os volumes estimados pelas equações ajustadas para os tratamentos que compõe o Grupo B, de três clones de <i>Eucalyptus</i> spp. plantados em diferentes densidades populacionais.	75
Tabela 32: Coeficientes e estatísticas das equações testadas para a estimativa de volume dos clones conduzidos no sistema de talhadia.	77
Tabela 33: Análise de variância comparando os volumes observados versus os volumes estimados pelas equações ajustadas para os tratamentos que compõe o Grupo B, de três clones de <i>Eucalyptus</i> spp. plantados em diferentes densidades populacionais.	80
Tabela 34: Análise de variância para os fatores clone, espaçamento e a interação clone x espaçamento para o Poder Calorífico Superior (PCS) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos no sistema de alto fuste.	82
Tabela 35: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias do Poder Calorífico Superior (PCS) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos no sistema de alto fuste.	83

Tabela 36: Análise de variância para os fatores clone, espaçamento e a interação clone x espaçamento para a Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos no sistema de alto fuste.....	85
Tabela 37: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias de Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos no sistema de alto fuste.....	85
Tabela 38: Análise de variância para os fatores clone, espaçamento e a interação clone x espaçamento para o Teor de Cinzas da Madeira (TCM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos no sistema de alto fuste.....	87
Tabela 39: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias do Teor de Cinzas da Madeira (TCM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos no sistema de alto fuste.	88
Tabela 40: Análise de variância para os fatores clone, sistema de manejo e a interação clone x sistema de manejo para o Poder Calorífico Superior (PCS) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos em dois sistemas de manejo.	90
Tabela 41: Análise de variância para a Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos em dois sistemas de manejo.	92
Tabela 42: Análise de variância para os fatores clone, sistema de manejo e a interação clone x sistema de manejo para a Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. conduzidos em dois sistemas de manejo.	92
Tabela 43: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias de Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. em dois sistemas de manejo.....	92
Tabela 44: Valores médios dos teores de cinzas da madeira (TCM) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. cultivados em dois sistemas de manejo.....	94
Tabela 45: Características físicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de alto fuste.....	97
Tabela 46: Características físicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de talhadia	97
Tabela 47: Características químicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de alto fuste.....	100
Tabela 48: Características químicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de talhadia.....	100
Tabela 49: Resultados do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, para as médias do teor de Fósforo (P), Acidez (pH), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Saturação por Bases (V) em função da ocupação do solo e da profundidade de coleta da amostra.	103
Tabela 50: Produção em volume, custos e receitas da produção de madeira de eucaliptos plantados em cinco espaçamentos no sistema de alto fuste e conduzidos no sistema de talhadia no espaçamento 3mx2m dos 42 aos 84 meses de idade.	110
Tabela 51: Composição dos custos da produção de madeira de eucaliptos plantados em cinco espaçamentos e conduzidos no sistema de talhadia no espaçamento 3mx2m dos 42 aos 84 meses de idade.	113
Tabela 52: Critérios de avaliação econômica da produção de madeira de eucaliptos plantados em cinco espaçamentos e conduzidos no sistema de talhadia no espaçamento 3mx2m dos 42 aos 84 meses de idade.	115

Tabela 53: Teste de esfericidade de Mauchly para o teor de fósforo nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.....	142
Tabela 54: Teste de esfericidade de Mauchly para o pH nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	142
Tabela 55: Teste de esfericidade de Mauchly para a Capacidade de Troca de Cátions nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	142
Tabela 56: Teste de esfericidade de Mauchly para Saturação por Bases nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses, no módulo de experimentação florestal do Polo Gesseiro do Araripe.....	142
Tabela 57: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para o teor de fósforo.	142
Tabela 58: Análise de variância para o teor de fósforo na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	143
Tabela 59: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para a acidez (pH). ...	143
Tabela 60: Análise de variância para acidez (pH) na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	143
Tabela 61: Análise de variância para acidez (pH) na camada de 5-20 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	143
Tabela 62: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para Capacidade de Troca de Cátions.	143
Tabela 63: Análise de variância para Capacidade de Troca de Cátions na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	143
Tabela 64: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para Saturação por Bases.	144
Tabela 65: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	144
Tabela 66: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 5,1-20 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	144
Tabela 67: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 20,1-50 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	144
Tabela 68: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 50,1-100 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	144
Tabela 69: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável teor de fósforo nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	144

Tabela 70: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável teor de fósforo nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	145
Tabela 71: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável acidez (pH) nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	145
Tabela 72: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável acidez (pH) nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	145
Tabela 73: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável Capacidade de Troca de Cátions nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	145
Tabela 74: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável Capacidade de Troca de Cátions nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	145
Tabela 75: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável Saturação por Bases nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	146
Tabela 76: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável Saturação por Bases nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.	146
Tabela 77: Custos e Receitas da produção de madeira de eucaliptos, no espaçamento 2x2.	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Densidades da distribuição t-Student e Normal.	29
Figura 2: Densidades da distribuição Logística II e Normal.....	29
Figura 3: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos clássicos para o grupo A.....	69
Figura 4: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos simétricos para o grupo A.	70
Figura 5: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos clássicos para o grupo B.....	73
Figura 6: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos simétricos para o grupo B.	74
Figura 7: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos clássicos para as árvores conduzidas sob o sistema de manejo de talhadia.....	78
Figura 8: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos simétricos para as árvores conduzidas sob o sistema de manejo de talhadia.....	79
Figura 9: Curvas de Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) para clones de <i>Eucalyptus</i> spp. plantados no espaçamento 3mx2m no município de Araripina – PE.....	109

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento volumétrico, a qualidade energética e a viabilidade econômica da produção de madeira de três clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos sob os regimes de alto fuste e de talhadia e as características químicas do solo sob essas áreas e uma área com vegetação nativa. O experimento foi implantado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Araripina - PE. Foram mensuradas altura e circunferência na altura do peito (CAP) de todas as árvores cada seis meses, com cubagens rigorosas realizadas aos 30, 36 e 42 meses e a coleta de amostras de madeira e do solo foi realizada aos 42 meses. Os dados de crescimento e as características químicas dos solos foram avaliados por análises multivariadas de medidas repetidas. Os dados de cubagem rigorosa foram utilizados para ajustar modelos volumétricos por meio da abordagem clássica e dos modelos simétricos e os demais parâmetros foram analisados de forma inteiramente aleatória em esquema fatorial. Os clones plantados no espaçamento 2mx1m apresentaram crescimentos em volume superiores e na comparação entre os clones plantados no espaçamento 3mx2m, nos dois sistemas de manejo florestal, o clone C39 conduzido tanto no sistema de alto fuste como de talhadia apresentou melhores resultados. Os ajustes dos modelos pelos dois métodos mostraram ser eficientes nas estimativas dos volumes das árvores. As características energéticas avaliadas apresentaram valores satisfatórios para madeiras com finalidades energéticas. Os solos com plantios de eucaliptos apresentaram valores para os atributos químicos levemente superiores aos encontrados na área com vegetação nativa. A avaliação econômica indicou que o clone C41 no espaçamento 2mx2m no sistema de alto fuste e C39 no 3mx2m nos dois sistemas de manejo apresentaram os melhores retornos econômicos.

Palavras chave: Viabilidade econômica; Dendroenergia; Manejo Florestal.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the volumetric growth, energy quality and economic viability of timber production from three clones of *Eucalyptus* spp. conducted under the regimes of high forest and coppice and chemical characteristics of the soil under those areas and an area with native vegetation. The experiment was carried out at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in Araripina - PE. The trees were measured at intervals of six months from the seedling plantation, while some sample of the treatments had their volumes determined at 30, 36 and 42 months and the collection of samples of wood and soil was performed at 42 months. The growth data and chemical soil characteristics were analyzed by multivariate analysis of repeated measures. The volume data was used to adjust volumetric models by classical approach and symmetric models and other parameters were analyzed as a completely random design with factorial arrangement. The clones planted at a spacing 2mx1m showed higher volume growth . When comparing the clones planted at a spacing 3mx2m in both systems of forest management, the C39 clone conducted both in the tall trees as coppice system showed better results. The fits of the models by the two methods are efficient to estimate the quantity of trees. The evaluated energy characteristics showed satisfactory values for woods with energy purposes. The soils with *Eucalyptus* spp. plantations showed slightly higher values for the chemical attributes to those found in the area with native vegetation. The economic evaluation indicated that the C41 clone with spacing 2mx2m in the high forest system and C39 in 3mx2m in both forest management systems showed the best economic returns.

Key words: Economic viability; Wood Energy; Forest Management.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com informações da Associação Nacional dos Fabricantes e Comerciantes de Gesso e seus Derivados (ASSOGESSO*) existem, atualmente no Polo Gesseiro do Araripe 174 calcinadoras de gipsita, sendo 165 operando a base de biomassa florestal e nove a base de combustíveis fósseis, óleo BPF e coque.

A produção média das calcinadoras varia entre 2500 t e 3000 t de gesso por mês, e consumo de energéticos florestais varia entre 0,15 m³ e 0,04 m³ por tonelada de gesso produzida, sendo que 120 (72,7%) operam com eficiência de 0,15 m³/t e apenas uma empresa trabalha com eficiência de 0,04 m³/t. Essas indústrias juntas consomem em média 54.390 m³ de lenha por mês, segundo informações da ASSOGESSO e do SINDUSGESSO (2013)*.

Diante destas informações estima-se que, anualmente o Polo Gesseiro do Araripe consuma 652.680 m³ de lenha. Considerando que a produção média das áreas exploradas sob Plano de Manejo Florestal Sustentável da Caatinga é de 46,5 m³/ha, após 15 anos de rotação, estima-se que para atender a demanda de energéticos florestais do parque industrial do Araripe necessita-se de 14.036 ha explorados sob planos de regime sustentado da vegetação.

Segundo Riegelhapt e Pareyn (2010), 80% da lenha consumida no Polo Gesseiro do Araripe tem origem ilegal, desta forma, estima-se que 11.229 ha são explorados, anualmente, sem anuência dos órgãos ambientais.

Estudando a questão ambiental e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da região do Araripe em Pernambuco, Campello (2011) afirma que um diagnóstico realizado pelas empresas calcinadoras de gipsita do Araripe constatou que a lenha utilizada por essas empresas tinha as seguintes origens: 11,75% provém de áreas sob o regime de manejo florestal

*Valores informados pela Associação Nacional dos Fabricantes e Comerciantes de Gesso (ASSOGESSO) e pelo Sindicado das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não Metálicos do Estado de Pernambuco (SINDUSGESSO) mediante apresentação de relatórios internos. 16

sustentado, 0,1% vem de reflorestamentos energéticos e 88,24% é originada de áreas exploradas sem licenciamento ambiental. Sabe-se que os produtores de gesso também utilizam lenha de poda de caju e outras frutíferas advindas de regiões onde existem cultivos comerciais, no entanto, aparentemente, a quantidade desse material não deve ser significativa, já que não foi citada no referido diagnóstico.

Informações que sirvam de base para o desenvolvimento de planos de manejo florestal sustentável com vistas a atender as demandas das indústrias locais que utilizam lenha como fonte de energia de forma sustentável ainda são escassas para a região (CAMPELLO, 2011; GADELHA, 2012).

A introdução de novas fontes energéticas renováveis com custos acessíveis aos calcinadores e produtores rurais da região, construída sob uma base científica desenvolvida na região, apresenta-se como uma opção econômica e ambientalmente viável (SILVA 2008 – 2009; ROCHA, 2012).

Dentro deste contexto, este trabalho foi estruturado com a finalidade de contribuir na geração de informações sobre o plantio de florestas energéticas de rápido crescimento na região do Polo Gesseiro do Araripe visando fomentar a oferta de lenha legalizada, a ocupação de áreas impróprias para agricultura e consequente diversificação da produção rural, além de estimular a criação de novos postos de trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Silvicultura do eucalipto

Várias são as definições existentes para a palavra Silvicultura e dentre elas se destaca a que a define como a ciência que estuda o cultivo de espécies florestais visando o ordenamento e a conservação da floresta, com a finalidade de obter o contínuo aproveitamento dos seus recursos para fins comerciais (ORMOND, 2006).

O cultivo de espécies florestais pode ser realizado por meio de dois regimes, o alto fuste e a talhadia. No regime de alto fuste a regeneração do povoamento é obtida por meio do plantio de mudas enquanto que no regime de talhadia o povoamento é formado pela rebrota das cepas deixadas após corte das árvores (RIBEIRO et al., 2002).

Historicamente, a silvicultura brasileira apresenta três fases. A primeira fase corresponde ao período do descobrimento do Brasil até o início dos incentivos fiscais proporcionados pelo governo federal aos projetos de reflorestamento, compreendido entre 1500 e 1965. A segunda fase se caracteriza pelo período de vigência dos incentivos fiscais, que compreende os anos de 1966 a 1988, enquanto que a terceira fase é definida como o período pós incentivos fiscais, 1989, até os dias atuais (ANTONANGELO; BACHA, 1998).

De acordo com Buainain e Batalha (2007), o processo de reflorestamento no Brasil se intensificou a partir de 1966, com os subsídios fiscais ofertados pelo governo, o que viabilizou a implantação de grande parte das áreas ocupadas atualmente com cultivos florestais. Nesse mesmo período também

se originou a silvicultura clonal (FERREIRA, 1992), que vem sendo ampliada cada vez mais em todo território brasileiro devido ao desenvolvimento de clones adaptados as mais diversas regiões, propósitos comerciais e custos competitivos, possibilitando a implantação de povoamentos florestais em áreas até então não indicadas (XAVIER; SILVA, 2010).

A silvicultura, baseada nas espécies do gênero *Eucalyptus* tornou o setor florestal competitivo (RIBASKI, 2010) e passou a ter importância econômica e socioambiental respondendo, atualmente, por 76,6% dos 6.664.812 ha ocupados com plantação de essências florestais dos gêneros *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. (ABRAF, 2013). No entanto, existem vários questionamentos sobre os efeitos das plantações de eucalipto sobre as propriedades químicas e físicas do solo, sendo este tema alvo de estudos há muitos anos, tendo como objetivo verificar possíveis alterações que podem ocorrer no solo, como resultado da decomposição da serapilheira de monocultivos e sua influência no pH, atividade microbiana, fertilidade, capacidade de troca de cátions, estrutura, capacidade de armazenamento de água, infiltração, aeração, etc. (LIMA, 1996; ALVARENGA; DAVIDE, 1999; MORA; GARCIA, 2000; GUEDES et al., 2006; PAULA et al. 2012).

De fato as características do solo sofrem alterações de acordo com o uso e manejo ao qual são destinados, podendo ser modificações positivas ou negativas. Sendo assim, o sistema de manejo adotado e a densidade de um povoamento podem promover alterações nas propriedades físicas de acordo com o sistema radicular da espécie e do tipo e da quantidade de matéria orgânica depositada, e nas propriedades químicas em função da dinâmica de nutrientes do solo (ROSA, 2010).

A diversidade de características morfológicas, físicas, químicas e biológicas confere aos solos diferentes potencialidades de uso e a utilização mas sem o manejo adequado, resulta em degradação e declínio da biodiversidade (SOUZA et al. 2013-a). Segundo Bellote et al. (2009) as propriedades do solo aliadas às informações climáticas são as características ambientais que mais influenciam no desenvolvimento da cultura do eucalipto.

Dentro deste contexto, uma maneira sustentável de conseguir produzir madeira passa pelo entendimento da dinâmica dos solos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010), que pode ser avaliada por meio de seus atributos físicos e químicos (MELLONI et al., 2008), incluindo a identificação e caracterização dos horizontes desses solos (EMBRAPA, 2006).

2.2 Florestas energéticas

A floresta está presente na vida do homem desde seus primórdios, seja fornecendo produtos florestais ou serviços ambientais. Com a evolução da sociedade e dos processos industriais as florestas foram suprimidas para dar lugar a outras formas de uso do solo, ou manejadas para ofertar seus produtos (MOREIRA, 2011), sendo a uso energético uma das principais formas de utilização da madeira em todo o mundo (BRITO, 1994; FAO, 2008), e no Brasil responsável por 10,0% da energia primária produzida (BRASIL, 2013).

Na década de 80, surgiu o termo florestas energéticas ou *short rotation*, para se referir a plantações florestais com grande número de árvores por hectare e com curta rotação, que ganhou força após a crise do petróleo na década de 70, quando a madeira passou a ser vista como alternativa para

substituir os combustíveis derivados do petróleo (BRITO, 1994; CORTEZ et al., 2009; DAWSON; McCRACKENT, 1995; MAGALHÃES, 2001; McKAY, 2011).

O cultivo de espécies florestais com finalidade energética cria uma perspectiva ambiental mais sustentável devido ao aproveitamento da madeira e o retorno dos resíduos culturais ao solo, uma vez que a utilização desses resíduos na geração de energia implica na remoção de nutrientes e matéria orgânica que serão disponibilizados no solo após decomposição, contribuindo com manutenção da qualidade do sítio e reduzindo a utilização de fertilizantes minerais (MULLER; COUTO, 2009). Ainda vale ressaltar que o aproveitamento dos resíduos da colheita florestal apresenta algumas desvantagens quando comparado com o aproveitamento da madeira produzida para gerar energia (Tabela 1).

Tabela 1: Comparação das características ligadas à produção de madeira e do aproveitamento dos resíduos florestais e agrícolas para produção de energia.

Floresta energética	Resíduos florestais e agrícolas
Matéria-prima homogênea	Matéria-prima com elevada variabilidade
Alta densidade energética espacial	Baixa densidade energética espacial
Localização da matéria-prima planejada	Material disperso geograficamente, dificultando a coleta.
Oferta depende do planejamento da produção	Oferta atrelada ao desempenho da atividade geradora do resíduo.

Adaptada de: Baettig et al. (2010); Muller; Couto (2009).

A produção de madeira para geração de energia por meio do plantio de florestas também se configura como alternativa interessante por contribuir para a diversificação da produção e promover utilidade produtiva a terras que não podem mais ser usadas para produzir alimentos (DAWSON; McCRACKENT,

1995; FIALA; BACENETTI, 2011). Ao mesmo tempo, são capazes de ofertar matéria-prima de qualidade para determinado setor produtivo, região ou país, permitindo a redução da dependência de combustíveis derivados de petróleo e proporcionando uma maior igualdade e justiça social, por ser uma das fontes com maior taxa de geração de empregos por unidade monetária investida (BRITO, 2007; FAO, 2008; STOLARSKI et al., 2011).

No Brasil o gênero *Eucalyptus* é o mais utilizado na implantação de florestas energéticas por ter facilidade de propagação, grande plasticidade ambiental, alta capacidade de rebrota, madeira com boas características energéticas e técnicas de clonagem e de cultivo aplicadas em larga escala (ALFENAS et al., 2004; BAETTIG et al., 2010; FIALA; BACENETTI, 2011; TRABADO et al., 2009). A silvicultura de curta rotação, usando o gênero *Eucalyptus*, tem potencial para produzir maiores volumes de biomassa quando comparada com outras culturas (McKAY, 2011).

Brito (1994) salienta que, além do importante recurso energético, a madeira de florestas plantadas tem um grande potencial de mercado, uma vez que esse mercado possui estabilidade de demanda e de preços e o uso da madeira para gerar energia promove diversos benefícios ambientais, como a captura de gás carbônico, que é uma importante fonte de geração de empregos contribuindo para a manutenção do homem no meio rural.

Já a World Wildlife Foundation (WWF, 2011) considera a produção de energia a partir de florestas de rápido crescimento um fator de elevada importância e ressalta que as áreas de plantações florestais nos países da América Latina, incluindo o Brasil, têm aumentado sem causar perda de

florestas naturais conferindo assim mais um critério de sustentabilidade ambiental a produção de madeira para geração de energia.

2.3 Energia da biomassa florestal

Entre os séculos XVI e XIX, a energia produzida pela biomassa chegou a representar 85% do consumo mundial de energia, pois antes desse período a biomassa era praticamente a única forma de energia usada pelo homem. Mas a partir do século XX, a produção de energia passou a ser dominada pelos combustíveis fósseis que representam, atualmente, cerca de 80% da energia produzida no mundo, sobrando 10% produzidos por energia nuclear, hidráulica, solar, eólica, geotérmica e 10% produzida pela biomassa, sendo 8,4% sob a forma de lenha (GOLDEMBERG, 2009).

Entende-se por biomassa a matéria vegetal produzida por meio da fotossíntese e os seus derivados, resíduos florestais, agrícolas e animais, além dos resíduos orgânicos industriais e domésticos. A energia química contida nesse material provém da transformação energética da radiação solar e pode ser liberada diretamente por combustão ou convertida via algum processo em outras fontes energéticas mais adequadas para um determinado fim, a exemplo do álcool e o carvão vegetal (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Ainda segundo Nogueira e Lora (2003) a biomassa pode ser classificada em três principais grupos, de acordo com a origem da matéria que a constitui: os biocombustíveis da madeira, chamados de dendrocombustíveis, os biocombustíveis de plantação não florestal ou agrocombustíveis e os resíduos urbanos. No caso dos dendrocombustíveis, trabalha-se basicamente a lenha,

que pode ser produzida a partir de florestas plantadas ou nativas, respeitando os limites que possibilitem a regeneração dessas florestas.

Esse tipo de combustível apresenta vantagens econômicas em relação aos demais combustíveis, principalmente, em países em desenvolvimento, pelo fato de poder ser produzido regionalmente, contribuindo para a independência energética e geração de receita.

No caso do Brasil, ainda se deve considerar que a maior parte dos equipamentos necessários para a conversão da biomassa em energia é de fabricação nacional, o que torna a questão econômica da biomassa uma questão estratégica, contrapondo as situações de crise econômica mundial, que acontecem com uma frequência cada vez maior (MULLER; COUTO, 2009; CENBIO, 2012). Além disto, o Brasil possui experiência na produção industrial em grande escala e na aplicação das tecnologias de energia da biomassa, sendo essa utilização uma combinação de fatores como disponibilidade de mão de obra, clima favorável para produção, disponibilidade de terras, indústrias aptas a utilizar esta energia e experiência histórica com aplicações industriais dessa fonte de energia (GOLDEMBERG; LUCON, 2007; CORTEZ, 2009).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2013), no ano de 2012, o Brasil produziu e consumiu 86.016×10^3 t de biomassa florestal, o que correspondeu a 10,0% da oferta interna de energia primária. Segundo Brito e Cintra (2004) e Silva et al. (2008), o setor residencial é um dos principais consumidores dessa fonte de energia, que é usada para cocção de alimentos, principalmente, e para aquecimento domiciliar.

No entanto, sabe-se que uma grande parte dessa biomassa provém da exploração predatória dos recursos florestais. Segundo Goldemberg e Lucon

(2008), em países menos desenvolvidos a lenha utilizada como fonte de energia para abastecer residências advém de coletas em fragmentos de florestas ou de desmatamento, enquanto que em países mais desenvolvidos o consumo de energia da biomassa em residências provém predominantemente de florestas plantadas.

Para Soares et al. (2006), o uso da biomassa florestal como fonte de energia condiz com a vocação brasileira para produzir madeira. Entretanto, mesmo diante desse uso potencial comprovado em várias pesquisas, para Couto et al. (2004 a), Afonso Junior et al. (2006) e Gadelha et al. (2012) a biomassa florestal recebe pouca atenção na concepção da matriz energética brasileira.

Diante das frequentes crises de energia no mundo, os baixos custos de produção da biomassa florestal e a disponibilidade de áreas degradadas com potencial florestal, esse recurso necessita de uma maior atenção como fonte de energia. De acordo com Brand (2010) a biomassa para atender essa demanda pode ser produzida em florestas plantadas com finalidades energéticas sendo obtida pelo uso múltiplo da floresta ou pelo plantio de espécies florestais para uso exclusivo na geração de energia, sendo que essa energia é considerada renovável por ser possível, em condições naturais, sua reposição em curto espaço de tempo (GOLDEMBERG; LUCON, 2008).

2.4 Crescimento, espaçamento e rotações em povoamentos florestais

O crescimento é definido como o aumento de tamanho ou de peso de um organismo ou comunidade viva, sendo expresso em volume ou biomassa, no caso de árvores ou florestas (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). De acordo

com Campos e Leite (2009), apesar do crescimento expresso em volume ser a forma mais comum, o desenvolvimento de árvores ou florestas também pode ser avaliado em função de informações de área basal e altura, além da massa, permitindo tomadas de decisões prévias, práticas e concretas, tendo em vista melhorias de qualidade e de produtividade do povoamento florestal (WEST, 2009).

Com o acompanhamento do desenvolvimento do povoamento florestal é possível construir uma base de dados capaz de proporcionar estimativas de crescimento florestal, produção, desbastes e outras práticas silviculturais, sendo esses dados de fundamental importância no convencimento do produtor rural a produzir madeira (SCOLFORO, 1993).

Sabendo que o crescimento da árvore é resultado de processos fisiológicos, torna-se necessário saber quais os fatores afetam diretamente o crescimento, destacando a importância da luz, temperatura, água, nutrientes, CO₂ e conteúdo de clorofila. A disponibilidade desses elementos para cada árvore depende da quantidade de plantas por unidade de área, que pode ser controlada no manejo do povoamento por meio de desbastes ou na fase de implantação da cultura, quando se deve definir o espaçamento que será adotado (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Para Rondon (2002), a definição do espaçamento adequado em projetos de reflorestamentos é primordial, uma vez que o distanciamento entre plantas e linhas de plantio afeta o desenvolvimento e a produtividade dos povoamentos florestais, principalmente quando esse é formado por espécies de rápido crescimento. A escolha da densidade inadequada de plantas pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica e diminuir a produtividade da floresta em razão da

intensa competição intraespecífica por água, nutrientes, luz e espaço (LELES et al., 1998).

2.5 Modelagem da produção florestal

A quantificação do volume de madeira nos povoamentos florestais é fundamental para o manejo sustentável dessas áreas (LEITE; ANDRADE, 2002). O uso das técnicas de modelagem para a prognose desse volume, acompanhados de análises econômicas, fornecem informações essenciais na tomada de decisões referentes à idade de colheita, níveis de densidade de plantio, níveis de fertilização, reforma do povoamento, entre outros (COUTO, 1989). Essas técnicas são fundamentadas em dados de crescimento obtidos do monitoramento do povoamento num determinado período de tempo (SOUZA; GAMA, 2010).

Atualmente, existem duas tendências para uso dessa técnica, os modelos baseados em processos, que são funções matemáticas de sistemas biológicos que consideram os mecanismos fisiológicos e ecológicos nos algoritmos de prognose, e os modelos descritivos ou biométricos, que são fundamentados em regressões e modelos de correlação, vertente adotada neste trabalho (SPATHELF; NUTTO, 2000; ACERBI JUNIOR, 2002; SCOLFORO, 2006; CARVALHO, 2010).

Os modelos de regressão são classificados como lineares e não lineares e por meio de relações biométricas estimam os valores de forma indireta a partir de dados de circunferência (CAP) e altura (Ht) de árvores amostras fornecendo estimativas precisas da variável desejada além de reduzir o tempo e o custo da coleta de dados (SPATHELF; NUTTO, 2000; MAZUCHELI;

ACHCAR, 2002). Além disto, necessitam-se de poucos detalhes para predizer o crescimento e fornecer informações gerais sobre a população (VANCLAY, 1995).

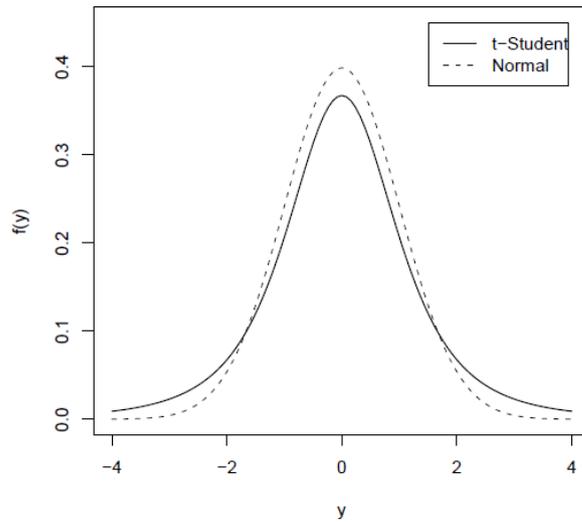
2.6 Modelos simétricos

Os modelos lineares e não lineares usualmente utilizados na predição do crescimento e produção florestal requerem que sejam satisfeitas as suposições de independência nas observações, normalidade e homocedasticidade dos erros (CLUTTER et al., 1983; SILVA; BAILEY, 1991). No entanto, as estimativas de modelos que pressupõe distribuição aproximadamente normal para os erros são sensíveis a observações extremas (CYSNEIROS et al., 2005), sendo necessário alternativas à suposição de normalidade dos erros (SANTOS et al., 2010; LIMA FILHO et al., 2012).

Dentre as distribuições pertencentes à classe simétrica, a normal é a mais utilizada devido ao seu desenvolvimento teórico e aplicado, mas as distribuições t de Student, Cauchy, t de Student generalizada, Exponencial potência, Logística dos tipos I e II, entre outras, possuem mesma simetria que a normal (CYSNEIROS et al., 2005).

Segundo Lange et al. (1989) a distribuição t de Student é utilizada para modelar o comportamento de dados que possuem uma distribuição com caudas mais pesadas que a normal (Figura 1), reduzindo a influência de observações anormais.

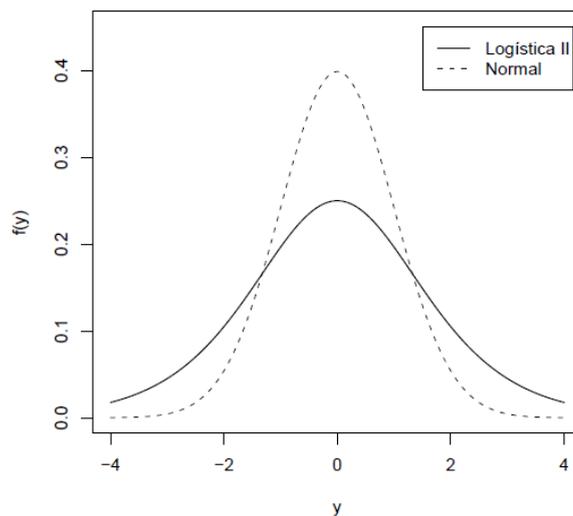
Figura 1: Densidades da distribuição t-Student e Normal.



Fonte: Lima Filho (2012)

Modelos com distribuição de erros do tipo logística foram utilizados por Schultz (1930), com a finalidade de modelar o crescimento de populações humanas, de alguns organismos biológicos e da produção agrícola. Na figura 2 é possível observar a forma da distribuição logística II em relação a normal.

Figura 2: Densidades da distribuição Logística II e Normal.



Fonte: Lima Filho (2012)

Assim, o estudo de modelos simétricos constitui mais uma alternativa para aprimorar a modelagem matemática de características quantitativas das

florestas, principalmente, quando essas características não se ajustam à distribuição normal.

2.7 Características energéticas da madeira

Diante da perspectiva de sustentabilidade ambiental por meio da utilização de fontes de combustíveis renováveis, principalmente biomassa, vários são os trabalhos de pesquisa que se propõem a estudar as características energéticas da madeira, com a finalidade de subsidiar manejadores de florestas nativas e plantadas na tomada de decisões mais precisas quanto à qualidade da madeira para geração de energia (COSTA, 2006; SANTANA, 2009; VALE et al., 2010; BUFALINO et al., 2012; MEDEIROS NETO et al., 2012; VIDAURRE et al., 2012).

Dentre os fatores que influenciam diretamente no potencial energético da madeira, destacam-se o poder calorífico, o teor de cinzas (BUFALINO et al., 2012), a densidade básica da madeira (VITAL, 1984), além da sua composição química (ARAÚJO et al., 2000). Desta forma, estudos sobre propriedades da madeira associados às informações sobre o crescimento florestal são de fundamental importância para avaliar a produção e utilidade final da madeira (COSTA, 2006).

A densidade básica da madeira é um dos parâmetros mais utilizados na avaliação da qualidade da mesma para geração de energia por estar diretamente correlacionada com o rendimento final do produto (COSTA, 2006) e ser de fácil determinação (BATISTA et al., 2010). É expressa pela relação entre o peso seco e volume verde de uma amostra da madeira (FOELKEL et al., 1981).

O poder calorífico é definido como a quantidade de calor liberado quando uma amostra de madeira é completamente queimada (BRITO; BARRICHELO, 1978), podendo-se considerar o poder calorífico superior (PCS), que é a soma da energia liberada na forma de calor e a energia utilizada no processo de eliminação da água na forma líquida, durante o processo de combustão. Por sua vez, o poder calorífico inferior (PCI) é apenas a energia liberada na forma de calor, quando a água se encontra em estado gasoso (PEREIRA et al., 2000; LIMA, 2010) e o poder calorífico útil (PCU), corresponde a quantidade de calor liberado na combustão descontado a energia necessária para evaporar a água referente à umidade da madeira (LIMA et al., 2008).

O teor de minerais na madeira, que também é chamado de teor de cinzas, é a porção residual que permanece na câmara de combustão após o processo de queima (PEREIRA, et al. 2000), geralmente correspondendo a menos de 1% da base da madeira absolutamente seca (BARCELLOS et al., 2005). Quando a madeira possui teores elevados de cinzas, exige-se uma maior frequência de limpeza dos fornos para evitar a corrosão de equipamentos metálicos (PEREIRA et al., 2000).

Segundo Vale et al. (2000) e Silva et al. (2012) o conhecimento da densidade básica da madeira, do seu poder calorífico, do teor de cinzas e outros componentes químicos associados ao potencial produtivo da cultura, são parâmetros importantes na seleção de espécies/clones para fins energéticos. Trugillo et al. (1996) ressaltam a importância dos estudos dessas características pelo fato da variação dos componentes físicos e químicos da madeira ser grande entre as espécies e as vezes até dentro da mesma espécie, em função, principalmente, da idade, genética e fatores climáticos.

2.8 Viabilidade econômica de projetos florestais

A rentabilidade econômica de qualquer atividade, seja ela florestal, agrícola, pecuária ou industrial, é fator decisivo para implantação e continuidade de qualquer empreendimento. Essa informação praticamente inexistente para cultivos florestais em regiões do semiárido nordestino, especificamente, para o Estado de Pernambuco. A única informação pública sobre assunto consta no trabalho desenvolvido por Rocha (2012) na região do Polo Gesseiro do Araripe, numa área de plantio experimental.

Alguns trabalhos de cunho científico abordam a análise econômica da vegetação da Caatinga para produção de lenha (FRANCELINO et al., 2003; MELO et al., 2006; MELO; CATARINA, 2008) que afirmam que a exploração de lenha na Caatinga é economicamente viável. No entanto, Francelino et al. (2003) não fazem uso de nenhum método de avaliação econômica que considere a variação do capital no tempo, considerando apenas o estoque de lenha e o valor atual do produto.

No âmbito nacional, vários são os trabalhos que demonstram a viabilidade econômica do plantio de eucaliptos (CHAUL; TIBIRIÇÁ, 2006; AFONSO JÚNIOR et al., 2006; RAPASSI et al., 2008; MOTTA et al., 2010; BARTH et al., 2012) mas, segundo Riegelhaupt e Pareyn (2010) o alto custo de implantação dos reflorestamentos de eucaliptos inviabilizam essa cultura em regiões semiáridas, justificado pelo fato da produtividade na região ser muito baixa, estimada em 5 m³/ha/ano e rotação mínima de sete anos, período que o produtor não tem retorno financeiro com a cultura. Tal afirmativa, aparentemente, não é fundamentada em nenhum trabalho científico ou mesmo de cunho comercial. No entanto, resultados encontrados por Rocha (2012)

mostram que o cultivo de eucaliptos na Chapada do Araripe, área de semiárido, é economicamente viável e que a rentabilidade é, aproximadamente seis vezes a mais que o rendimento financeiro da exploração da lenha de Caatinga.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Estudar o crescimento de clones híbridos de *Eucalyptus* spp., a qualidade da sua madeira, as características químicas do solo e a viabilidade econômica da produção de madeira sob regime de alto fuste e talhadia.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar sobrevivência, incremento e produtividade dos clones de *Eucalyptus* spp.;
- Ajustar modelos matemáticos para predição do volume de madeira;
- Determinar a qualidade energética da madeira dos clones de *Eucalyptus* spp.;
- Avaliar os atributos químicos do solo em função do sistema de manejo adotado, comparando com uma área de vegetação nativa;
- Avaliar viabilidade econômica da implantação de florestas de rápido crescimento na região;
- Determinar qual a melhor densidade para plantios de povoamentos dos clones de *Eucalyptus* spp.

4 METODOLOGIA

4.1 Local do experimento

O experimento foi implantado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizada na Chapada do Araripe, município de Araripina, no Semiárido de Pernambuco, com coordenadas geográficas 07°27'37" S e 40°24'36" W, altitude de 831 metros e solos do tipo (LA 19) definido como latossolo amarelo + latossolo vermelho – amarelo (EMBRAPA SOLOS, 2006)

A precipitação média anual é de 760 mm, concentrada entre os meses de novembro a maio, representando mais de 80% do total anual, o que provoca deficiências hídricas que se acumulam a partir de junho até outubro, quando é mínima, sendo atenuada no período de fevereiro a abril nos quais ocorre um pequeno excesso (ITEP/LAMEPE, 2009). No entanto, nos dois últimos anos a precipitação anual foi inferior à média histórica (Tabela 2). O clima é do tipo Bshw', semiárido, quente, com chuvas de verão-outono, pela classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 24°C (ARAÚJO, 2004).

Tabela 2: Precipitação pluviométrica no município de Araripina - PE.

Ano	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
2010	220,0	49	108,5	129,5	0,0	58,1	8,2	0,0	0,5	5,4	29,2	130,5	738,9
2011	139,0	84,2	219,4	103,8	81,6	5,2	6,4	49,0	0,0	31,2	81,6	4,2	805,6
2012	34,2	89,2	103,0	0,0	0,0	0,4	13,6	1,8	0,0	0,0	29,0	41,0	312,2
2013	243,0	51,0	40,2	35,4	6,0	2,4	68,0	0,0	0,0	0,0	7,5	95,9	549,4
Média	159,1	68,4	117,8	67,2	21,9	16,5	24,1	12,77	0,1	9,2	36,8	67,9	601,5

4.2 Características do experimento

O trabalho foi conduzido considerando a existência de dois experimentos. No primeiro, o povoamento foi composto por três clones plantados em cinco densidades populacionais formando 15 tratamentos conduzidos no sistema de

manejo de alto fuste, com 42 meses de idade (TABELA 3). O segundo experimento foi formado pelos mesmos clones no espaçamento 3mx2m, no sistema de alto fuste e de talhadia, também com 42 meses de idade (TABELA 4). A adoção de um único espaçamento se deve ao fato dessa parte do experimento ter ser desenvolvido na área onde foi implantado um primeiro projeto de pesquisa, cujo objetivo foi comparar diversos clones de eucaliptos e outras espécies exóticas e nativas e que gerou as informações que subsidiaram a implantação do experimento onde está se testando as cinco densidades populacionais. Os clones selecionados desse experimento foram os que apresentaram melhores resultados em termos volumétricos e econômicos (ROCHA, 2012).

As mudas foram plantadas em covas com dimensões de 30cm x 20cm, com adubação de fundação conforme recomendação da análise do solo e as parcelas foram compostas de 49 plantas sendo 25 plantas na área útil, num total de quatro parcelas para cada espaçamento/tratamento. Os tratamentos estão descritos nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Descrição dos tratamentos avaliados no Módulo de Experimentação Florestal do Polo Gesseiro do Araripe (Experimento 01), em Araripina –PE.

Trat	Clone	Descrição	Sistema de manejo	Espaçamento	Dimensão da parcela	Área da parcela (m ²)	Área útil (m ²)	Plantas por hectare
1	C41	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	2mx1m	14mx7m	98	50	5000
2	C41	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	2mx2m	14mx14m	196	100	2500
3	C41	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
4	C41	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx3m	21mx21m	441	225	1111
5	C41	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	4mx2m	28mx14m	392	200	1250
6	C11	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	2mx1m	14mx7m	98	50	5000
7	C11	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	2mx2m	14mx14m	196	100	2500
8	C11	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
9	C11	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx3m	21mx21m	441	225	1111
10	C11	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	4mx2m	28mx14m	392	200	1250
11	C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	2mx1m	14mx7m	98	50	5000
12	C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	2mx2m	14mx14m	196	100	2500
13	C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
14	C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx3m	21mx21m	441	225	1111
15	C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	4mx2m	28mx14m	392	200	1250

Tabela 4: Descrição dos tratamentos avaliados no Módulo de Experimentação Florestal do Polo Gesseiro do Araripe (Experimento 02), em Araripina –PE.

Trat	Clone	Descrição	Sistema de manejo	Espaçamento	Dimensão da parcela	Área da parcela (m ²)	Área útil (m ²)	Plantas por hectare
8	C41	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
13	C11	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
3	C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto fuste	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
16	C41	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Talhada	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
17	C11	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	Talhada	3mx2m	21mx14m	294	150	1667
18	C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	Talhada	3mx2m	21mx14m	294	150	1667

4.3 Medição do experimento e cubagem rigorosa das árvores

As mensurações da altura total das árvores (Ht), índice de sobrevivência (S) e circunferências à altura do peito (CAP) com um limite mínimo de 5,0 cm, foram realizadas a cada seis meses, totalizando cinco medições (24, 30, 36 e 42 meses).

A cubagem rigorosa foi realizada numa amostra de 394 árvores, sendo 87 aos 30 meses, 74 aos 36 meses e 233 aos 42 meses, aplicando-se o método de Smalian (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003).

$$V = \frac{g_1 + g_2}{2} * L \quad (1)$$

Em que: V = Volume (m³); g₁ = Área basimétrica do início da tora (m²); g₂ = Área basimétrica do fim da tora (m²); L = Comprimento da tora (m)

$$g = \frac{CAP^2}{4 * \pi} \quad (2)$$

4.4 Modelagem do volume

Os dados foram submetidos a uma análise de variância com a finalidade de observar a existência ou não diferenças significativas entre as médias de volume. Para o agrupamento dos tratamentos com médias semelhantes foi realizado o teste de Scott-Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software ASSISTAT versão 7,6 beta (SILVA, 2011).

Para os ajustes dos modelos volumétricos foi utilizada uma base de dados composta por 305 árvores amostras selecionadas de forma aleatória e distribuídas em seis classes de diâmetros e quatro de altura (Tabela 5). Os modelos testados estão apresentados na tabela 6.

Tabela 5: Distribuição das árvores amostras por classe de diâmetro e de altura, cubadas rigorosamente para construção de equações volumétricas.

Classe de DAP (cm)	Classe de altura (m)				Total
	6,0 - 7,9	8,0 - 9,9	10,0 - 11,9	12,0 - 13,9	
3,0 - 4,9	1	1			2
5,0 - 6,9	25	30	10		65
7,0 - 8,9	15	45	60	8	128
9,0 - 10,9		20	50	20	90
11,0 - 12,9			10	9	19
13,0 - 14,9				1	1
Total	41	96	130	38	305

Tabela 6: Modelos volumétricos ajustados para estimar o volume (m³) de clones de eucaliptos cultivados em diferentes espaçamentos e em dois sistemas de manejo.

	Descrição	Autor
1.	$V_i = \beta_0 e^{\beta_1 (\beta_2^{X_{i1}} + \beta_3^{X_{i2}})} + \varepsilon_i$	Silva e Bailey - modificado
2.	$V_i = \beta_0 X_{i3}^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Spurr
3.	$V_i = \beta_0 X_{i1}^{\beta_1} X_{i2}^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Schumacher e Hall
4.	$V_i = \beta_0 - \beta_1 e^{[(-\beta_2 X_{i1}) + (-\beta_3 X_{i2})]} + \varepsilon_i$	Brody modificado

Em que:

V_i = Volume da árvore i em m³; X_{i1} = CAP (1,30 m) árvore i em m; X_{i2} = altura total da árvore i em m; X_{i3} = CAP²*altura total i em m; β_0 , β_1 , β_2 e β_3 = parâmetros dos modelos; ε_i = erro aleatório.

Os ajustes dos modelos foram realizados no SAS, para a abordagem clássica se utilizou o procedimento PROC NLIN, enquanto que os modelos simétricos foram ajustados pelo procedimento PROC NLP (Non Linear Programming), conforme o Apêndice I. Tomando como exemplo o modelo de Schumacher e Hall para os modelos simétricos, conforme descreve Lima Filho (2012), tem-se que:

$$g(\mu_i) = \beta_0 DAP_i^{\beta_1} H_i^{\beta_2} \quad (3)$$

Em que μ_i é a média de y_i (volume)

Os modelos apresentados na tabela 6 foram ajustados supondo as distribuições simétricas para os erros, Normal, t de Student e Logística tipo II, sendo o parâmetro v da distribuição t de Student estimado por meio da verossimilhança perfilhada.

Sabendo-se que a função densidade de probabilidade de y_i é definida por;

$$f = (y_i, \mu, \emptyset) = \frac{1}{\sqrt{\emptyset}} g(u), \quad y \in \mathbb{R}, \quad (4)$$

Em que $u = \frac{(y_i - \mu_i)^2}{\emptyset}$ e a função geradora de densidade $g(u)$ pode assumir diversas formas.

Para distribuição Normal, $g(u)$ é definido por:

$$g(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-u/2) \quad (5)$$

Assim a log-verossimilhança (l) do modelo é dada por:

$$l(y_i, \mu_i, \emptyset) = -\frac{n}{2} \ln \emptyset - n(u/2) \quad (6)$$

Em que $u = \frac{(y_i - \mu_i)^2}{\emptyset}$, y_i é o volume da árvore, $\mu_i = \beta_0 DAP_i^{\beta_1} H_i^{\beta_2}$ e \emptyset o parâmetro de escala.

Dessa forma a log-verossimilhança é dada por:

$$l(y_i, \mu, \emptyset) = -\frac{n}{2} \ln \emptyset - \left[\frac{(y_i - \beta_0 DAP_i^{\beta_1} H_i^{\beta_2})^2}{2\emptyset} \right] \quad (7)$$

Desta forma, por meio de processos iterativos é possível obter a estimativa de β_0, β_1 e β_2 e \emptyset e ajustar os modelos volumétricos associados às distribuições simétricas. No caso deste trabalho o $l(y_i, \mu, \emptyset)$ e μ_i assumiram três formas, de acordo com o modelo e a distribuição simétrica selecionada.

A seleção da melhor equação volumétrica foi realizada com base nos seguintes critérios:

➤ Índice de Ajuste (IA%) – Determina o grau de ajustamento da equação de acordo com o conjunto de dados e permite comparar equações com diferentes números de coeficientes, quanto mais próximo de “1” melhor o ajuste (SCHLAEGEL, 1981), sendo calculado pela seguinte equação:

$$IA\% = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} * 100 \quad (8)$$

Em que IA%.= Índice de Ajuste em porcentagem; y_i = Volume observado; \hat{y}_i = Volume estimado; \bar{y} = Média dos volumes observados.

➤ Erro padrão da média ($S_{\bar{y}}$) – exprime a dispersão média entre os valores observados e os estimados pela linha de regressão, quanto menor for o erro, mais precisa a equação. (MACHADO et al., 2002). É calculado por:

$$S_{\bar{y}}(\%) = \frac{\sqrt{QMR}}{\bar{y}} * 100 \quad (9)$$

Em que: $S_{\bar{y}}(\%)$ = erro padrão da estimativa em porcentagem; QMR= quadrado médio do resíduo; \bar{y} = volume médio estimado.

➤ Análise gráfica dos resíduos – Permite a visualização do ajuste dos modelos por meio da distribuição dos dados estimados ao longo da linha de regressão, mostrando a existência ou não de tendenciosidade e auxiliando na decisão da equação que melhor explica o comportamento dos dados (SCHNEIDER et al. 2009). O resíduo é calculado pela seguinte fórmula:

$$Res(\%) = \left(\frac{Vol_{obs} - Vol_{est}}{Vol_{est}} \right) * 100 \quad (10)$$

Em que: Res (%) = resíduos em porcentagem; Vol_{obs} = volume observado (m^3); Vol_{est} = volume estimado (m^3).

4.5 Determinação da densidade básica da madeira (DBM)

Para determinação da DBM foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 5cm x 3cm x 2cm, que tiveram seus volumes mensurados com auxílio de um paquímetro digital. Em seguida as amostras foram acondicionadas em estufa regulada a $105^{\circ}\pm 2^{\circ}$ até peso constante quando tiveram o volume mensurado novamente (MORESCHI, 2010).

A densidade básica da madeira foi determinada pela razão entre a massa seca e o volume úmido, como se segue:

$$DBM = \frac{M_{as}}{V_{verde}} \quad (11)$$

Em que: DB: Densidade Básica (g/cm^3); M_{as} : Massa absolutamente seca (g); V_{verde} : Volume da madeira saturado (cm^3).

4.6 Determinação do poder calorífico (PCS)

O poder calorífico foi determinado de acordo com a norma NBR 8633 (ABNT, 1984) e o manual do calorímetro de marca IKA, modelo C 2000.

Após a transformação de porções das amostras em pequenas partículas o material foi levado à bomba calorimétrica para determinação do poder calorífico superior (PCS).

4.7 Determinação do teor de cinzas (TC)

Para a determinação das cinzas a madeira foi moída em moinho de facas com peneira de 2 mm e em seguida pesada uma amostra de 2 g em um cadinho de porcelana, previamente incinerado, esfriado e pesado. O conjunto foi incinerado em uma mufla a uma temperatura de 600°C por quatro horas. Ao final do processo o conjunto foi retirado da mufla e colocado num dissecador e

pesado quando em temperatura ambiente (SILVA; QUEIROZ, 2002; DETMANN et al., 2012).

O percentual residual foi calculado pela diferença de peso no início e no fim do processo.

4.8 Características físicas e químicas do solo

Para definição da profundidade da amostragem foram abertos dois perfis com 2,0 metros de profundidade, um em cada área experimental, e com o auxílio de um técnico especialista em pedologia se definiu que as amostras seriam coletadas em quatro profundidades, 0 – 5 cm; 5,1 – 20 cm; 20,1 – 50 cm; 50,1 – 100 cm, região onde se observou maior variabilidade das características físicas do solo e maior concentração de raízes.

Em cada parcela se realizou um furo, com o auxílio de trado holandês, e foram coletadas amostras nas quatro profundidades, totalizando 288 amostras. Para fins de comparação foi realizada a coleta de solos numa área com vegetação nativa estabelecida há mais de 10 anos, na qual foram escolhidos quatro pontos aleatórios, onde se foram coletadas as amostras nas quatro profundidades estabelecidas, que somadas às amostras realizadas nas áreas do experimento, totalizaram 304.

As amostras foram secas ao ar e em seguida todas as análises físicas e químicas foram realizadas nos laboratórios do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, conforme o Manual de Métodos de análise de solo, Embrapa (1997) e o Manual de práticas laboratoriais (LEMOS DA SILVA, et al., 2013; SOUZA et al., 2013-b).

A classificação do solo foi feita de acordo com os procedimentos de estudos pedológicos da Embrapa (2006).

4.8.1 Análises Físicas

Para determinação da densidade aparente (g/cm^3) se utilizou o método da proveta. Já a densidade de partículas foi determinada pelo princípio do volume de álcool etílico necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico.

Para a análise granulométrica foi realizada a separação das partículas em coqueteleira para dispersão mecânica, sendo a fração areia separada por peneiramento e as frações silte e argila por sedimentação.

A classe textural foi determinada com o auxílio do triângulo textural e tomando-se como referência os valores encontrados na análise granulométrica.

O teor de argila dispersa em água foi determinado com auxílio de um densímetro. Paralelamente, efetuou-se uma prova em branco também com auxílio do densímetro. Após esse procedimento o teor de argila foi determinado pela seguinte fórmula:

$$TA = (L1 + L2) * 20 \quad (12)$$

Em que: TA=Teor de argila; L1= Leitura da amostra; L2= Leitura da prova em branco.

O grau de flocculação (GF) foi obtido pela seguinte fórmula:

$$GF = 100 * (AT - ADA)/AT \quad (13)$$

Em que: AT = Argila total; ADA= Argila dispersa em água.

4.8.2 Análises Químicas

Para determinação do pH em água utilizou-se um eletrodo, que foi mergulhado na suspensão homogeneizada de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) e água deionizada para a realizada a leitura do pH.

O cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) foram extraídos com solução padronizada de KC1 1M, em conjunto com o alumínio trocável. Para determinar o fósforo (P^+), potássio (K^+) e o sódio (Na^+) utilizou-se a solução extratora de Mehlich 1, o fósforo (P^+) foi determinado espectroscopicamente por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, o potássio (K^+) e o sódio (Na^+) foram aferidos no fotômetro de chama.

O alumínio (Al^{3+}) e o hidrogênio (H^+) (acidez potencial) foram extraídos das amostras pelo acetato de cálcio.

A soma de bases (S) foi obtida pela soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio, enquanto que a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) foi obtida pela soma de bases mais a acidez potencial. A saturação por bases (V) é o percentual da soma de bases em relação à CTC e a saturação por alumínio (m) foi obtida pela seguinte expressão:

$$m(\%) = 100 * \left(\frac{\text{Al}^{3+}}{\text{S} + \text{Al}^{3+}} \right) \quad (14)$$

4.9 Delineamento experimental

4.9.1 Crescimento ao longo do tempo

Inicialmente, os dados de volume ao longo do tempo foram submetidos ao teste de esfericidade de Mauchly (MAUCHLY, 1940), com a finalidade de

verificar se esses violavam ou não a condição de variâncias iguais e correlações nulas, para decidir se a análise estatística seria a análise multivariada de medidas repetidas ou em parcelas subdivididas no tempo. Decidido o delineamento experimental, foi aplicado modelo estatístico descrito por Neter et al. (1990) e Nemeç (1996) para avaliar o crescimento em volume nas idades T24 (24 meses), T30 (30 meses), T36 (36 meses) e T42 (42 meses), conforme modelo matemático descrito abaixo.

$$Y_{ikl} = \mu + \gamma_i + \tau_k + (\gamma\tau)_{ik} + \varepsilon_{ikl} \quad (15)$$

Em que:

Y_{ikl} = Valor observado para a variável resposta (volume) no j-ésimo bloco i-ésimo espaçamento, no k-ésimo tempo e na l-ésima repetição;

μ = Média geral. É a constante inerente a todas as observações;

γ_i = Efeito do i-ésimo espaçamento;

τ_k = Efeito do k-ésimo tempo;

$(\gamma\tau)_{ij}$ = Efeito da interação entre o i-ésimo espaçamento no k-ésimo tempo;

ε_{ikl} = Efeito aleatório correspondente às observações do i-ésimo espaçamento no k-ésimo tempo e na l-ésima repetição.

As hipóteses testadas foram as seguintes:

H_{01} : Não existem diferenças significativas entre os tratamentos (hipótese de perfis coincidentes);

H_{02} : Não existem diferenças significativas entre os tempos de mensuração (perfis constantes);

H_{03} : Não existe interação tempos de mensuração x tratamentos (perfis paralelos).

As hipóteses testadas foram submetidas aos testes de significância de Lambda de Wilks, Traço de Pillai e Traço de Lawley-Hotelling e Maior Raiz de Roy. Quando foram verificadas diferenças significativas entre as interações

templo x clone e tempo x clone x espaçamento, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de significância (KHATTREE; NAIK, 1999).

Os dados foram avaliados considerando os 15 tratamentos existentes na área 01, na qual se compararam os volumes de madeira produzidos pelos clones em função das densidades de plantio adotadas e em uma segunda análise (área 02), a comparação foi realizada considerando volume de madeira dos clones conduzidos no espaçamento 3mx2m em função do sistema de manejo adotado.

Para os dados referentes aos atributos químicos do solo (P, pH, CTC, e V) o procedimento foi o mesmo, no entanto o objetivo foi avaliar os atributos do solo de três áreas, uma ocupada com eucaliptos há 42 meses, a segunda ocupada com eucaliptos há 138 meses e a terceira ocupada com vegetação nativa do bioma Caatinga há 120 meses, em quatro profundidade de coleta (0,5 cm; 5-20 cm; 20-50 cm; 50-100 cm), conforme modelo matemático descrito abaixo.

$$Y_{ik1} = \mu + \gamma_i + \tau_k + (\gamma\tau)_{ik} + \varepsilon_{ik1} \quad (16)$$

Em que:

Y_{ik1} = Valor observado para a variável resposta (P, pH, CTC e V) no j-ésimo bloco i-ésima ocupação do solo, na k-ésima profundidade e na l-ésima repetição;

μ = Média geral. É a constante inerente a todas as observações; γ_i = Efeito do i-ésima ocupação do solo;

τ_k = Efeito da k-ésima profundidade;

$(\gamma\tau)_{ij}$ = Efeito da interação entre a i-ésima ocupação do solo na k-ésima profundidade;

ε_{ik1} = Efeito aleatório correspondente às observações da i-ésima ocupação do solo na k-ésima profundidade e na l-ésima repetição.

As hipóteses testadas foram as seguintes:

H_{01} : Não existem diferenças significativas entre as ocupações do solo (hipótese de perfis coincidentes);

H_{02} : Não existem diferenças significativas entre as profundidades de coleta (perfis constantes);

H_{03} : Não existe interação ocupação do solo x profundidade de coleta (perfis paralelos).

Conforme relatado acima, as hipóteses testadas foram submetidas aos testes de significância de Lambda de Wilks, Traço de Pillai e Traço de Lawley-Hotelling e Maior Raiz de Roy. Quando foram verificadas diferenças significativas entre as interações as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de significância (KHATTREE; NAIK, 1999).

As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS, 1999).

4.9.2 Taxa de sobrevivência, características energéticas da madeira e químicas solo

Estes parâmetros foram avaliados apenas no final do experimento, aos 42 meses e o delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente ao acaso, organizado em esquema fatorial.

Na avaliação das características energéticas da madeira dos tratamentos da área 01 o esquema adotado foi o fatorial 3x5 (clones x espaçamento) e na área 02, adotou-se o esquema 3x2 (clones x sistema de manejo). Para análise dos atributos químicos do solo o esquema adotado foi o 3x4 (ocupação do solo x profundidade de coleta).

As comparações das médias foram realizadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas no software estatístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS, 1999).

4.10 Avaliação econômica

A análise financeira foi realizada com a finalidade de verificar se a renda gerada pela atividade remunera ou não o capital investido. A análise foi embasada nos métodos de avaliação de projetos, conforme descritos a seguir.

4.10.1 Valor presente líquido (VPL)

O VPL é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (SILVA et al., 2008).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j} \quad (17)$$

Em que: R_j = receitas no período j ; C_j = custos no período j ; i = taxa de desconto; j = período de ocorrência de R_j e C_j ; n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo.

Um projeto analisado pelo VPL é economicamente viável quando apresenta uma diferença positiva entre receitas e custos atualizados para uma determinada taxa de desconto (SILVA et al., 2008).

4.10.2 Razão benefício/custo (B/C)

Este parâmetro consiste em relacionar valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, a uma determinada taxa de juros ou descontos. Sendo assim, um projeto é considerado economicamente viável se a relação for maior do que 1. Quando se compara dois ou mais projetos, o mais viável é

aquele que apresentar o maior valor de B/C (REZENDE; OLIVEIRA, 2008; SILVA et al., 2008).

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}} \quad (18)$$

Em que:

R_j = receita líquida no final do ano j ;

C_j = custo no final do ano j ;

i = taxa de desconto;

j = período de ocorrência de R_j e C_j ;

n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo.

4.10.3 Custo Médio de Produção (CMPr)

Este é um critério utilizado quando se deseja trabalhar com o custo médio mínimo, independente da quantidade produzida e do tempo de duração do investimento. O CMPr resulta da relação entre o custo total atualizado (CT_j) e a produção total equivalente (QT_j), sendo necessário converter os valores num mesmo período de tempo (REZENDE e OLIVEIRA, 2008; SILVA et al 2008).

$$CMPr = \frac{\sum_{j=0}^n CT_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n PT_j (1+i)^{-j}} \quad (19)$$

Em que:

CT_j = Custo total atualizado em cada período j ;

PT_j = Produção total equivalente em cada período j .

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Crescimento ao longo do tempo no primeiro experimento (Clone x Espaçamento)

Para avaliar o crescimento em volume dos três clones em função das densidades de plantio (Tabela 3), entre as idades 24 e 42 meses, os dados foram submetidos ao teste de esfericidade de Mauchly e de acordo com o resultado observou-se que a condição de esfericidade foi violada ($p < 0,05$) (Tabela 7), comprovando que as observações devem ser estudadas por meio da análise multivariada de medidas repetidas e não pelo método da parcela subdividida.

Tabela 7: Teste de esfericidade de Mauchly para o volume (m^3/ha) de três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Variáveis	GL	Crítério de Mauchly	χ^2	Pr $> \chi^2$
Variáveis transformadas	5	0,0093	204,2641	$< 0,0001$
Componentes ortogonais	5	0,0449	135,6391	$< 0,0001$

As análises de variância para os efeitos clones, espaçamentos e interação clones x espaçamentos e para os efeitos do tempo e as interações tempo x clone, tempo x espaçamento e tempo x clone x espaçamento de *Eucalyptus* spp. plantados em Araripina – PE se encontram na tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8: Análise de variância para o efeito dos tratamentos (clones x espaçamento).

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clone	2	293,362	146,681	0,36	0,6987
Esp.	4	42389,888	10597,472	26,11	< 0,0001
ClonexEsp.	8	7978,627	997,328	2,46	0,0267
Resíduo	45	18266,674	405,926		
Total	59	68928,551			

Em que: FV = Fonte de Variação; GL – Graus de Liberdade; SQ – Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; F = valor de F.

De acordo com a análise de variância foram constatadas diferenças significativas entre as médias de volume ao longo do tempo para o efeito espaçamento, enquanto que para o efeito clone as médias não diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$).

Tabela 9: Análise de variância para o efeito do tempo e as interações tempo x clone, tempo x espaçamento e tempo x clone x espaçamento.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tempo	3	37340,856	12446,952	599,61	<0,0001
TempoxClone	6	54,163	9,027	0,43	0,8545
TempoxEsp.	12	2051,777	170,981	8,24	<0,0001
TempoxClonexEsp.	24	1001,587	41,732	2,01	0,0067
Resíduo	135	2802,399	20,758		
Total	180	43250,782			

Observa-se que a análise de variância para o efeito tempo e as interações tempo x espaçamento e tempo x clone x espaçamento apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$), indicando que existe dependência entre os volumes ao longo do tempo. Já para a interação tempo x clone não houve diferença significativa, ou seja, aceita-se a hipótese de nulidade entre as médias ao longo do tempo.

Os testes de hipóteses para o efeito tempo e para interação tempo x espaçamentos são apresentados nas tabelas 10 e 11, respectivamente.

Tabela 10: Teste de hipótese do efeito do tempo para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0619	217,16	< 0,0001
Traço de Pilai	0,9380	217,16	< 0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	15,1508	217,16	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	15,1508	217,16	< 0,0001

Tabela 11: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x espaçamento para variável volume de madeira dos clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,2318	7,01	< 0,0001
Traço de Pilai	1,1123	6,63	< 0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	1,9927	7,01	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	1,0122	11,39	< 0,0001

De acordo com os testes Lambda de Wilks, Traço de Pilai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy as hipóteses de nulidade para o efeito tempo e para a interação tempo x espaçamento devem ser rejeitadas ($p < 0,01$), indicando que a avaliação dos valores de volume de madeira ao longo do tempo deve ser realizada de forma isolada para cada período.

Nas tabelas 12 e 13, respectivamente, são apresentados os resultados das Análises de Variância para o efeito da interação tempo x clones e para a interação tempo x clones x espaçamentos.

Tabela 12: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone para variável volume de madeira dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,8144	1,55	0,1722
Traço de Pilai	0,1881	1,52	0,1799
Traço de Hotelling – Lawley	0,2245	1,59	0,1669
Maior Raiz de Roy	0,2088	3,06	0,0377

Tabela 13: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone x espaçamento para variável volume de madeira dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,4793	1,51	0,0769
Traço de Pillai	0,6306	1,50	0,0783
Traço de Hotelling – Lawley	0,8684	1,52	0,0832
Maior Raiz de Roy	0,5129	2,89	0,0111

Nas duas ocasiões os testes indicaram a aceitação da hipótese de nulidade, exceto o teste Maior Raiz de Roy. Como apenas um teste indicou que a hipótese de nulidade deveria ser rejeitada, adotou-se como sendo consistente a hipótese de igualdade entre as médias de volume ao longo do tempo, conforme recomenda Xavier (2000).

Ao comparar os resultados dos testes de hipóteses multivariados para a interação tripla (Tabela 13) com o resultado correspondente no teste univariado (Tabela 9) é possível constatar que a Análise de Variância indica que a interação entre os três fatores é significativa, enquanto que os testes de hipóteses multivariados indicam que a interação não é significativa. Segundo Nemeç (1996), esse tipo de resultado ocorre pelo fato do modelo multivariado ser menos restritivo, conseqüentemente, menos poderoso em relação ao modelo univariado sendo que nesses casos é aconselhável o uso do resultado baseado nos testes univariados.

Para Schmidt (2006) o estudo das interações dos efeitos sobre as variáveis deve ser conduzido com base no interesse técnico e biológico das respostas obtidas e por isso as interações triplas, mesmo que significativas, nem sempre devem ser consideradas. Considerando esta informação e que em casos semelhantes ao analisado neste trabalho e apresentados por Nemeç

(1996), conclui-se que neste caso, o efeito tempo não é muito importante, portanto, a interação tripla não foi considerada.

Diante destes resultados se procedeu a comparação das médias pelo teste de Tukey com a finalidade de inferir sobre quais espaçamentos diferem significativamente quanto ao volume médio de madeira (Tabela 14) e sobre quais tratamentos diferem significativamente quanto ao volume de madeira produzido ao longo do tempo (Tabela 15). Novamente, considerando os interesses técnicos e biológicos dos resultados apresentados, as classificações das médias foram realizadas dentro de cada tempo de mensuração (SCHMIDT, 2006).

Tabela 14: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m³/ha) por espaçamento ao longo do tempo para clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Espaçamento	Idade (meses)			
	24	30	36	42
2mx1m	31,96 a	50,04 a	64,71 a	79,25 a
2mx2m	25,59 a	41,70 a	51,89 a	61,33 a
3mx2m	11,11 b	22,36 b	33,15 b	41,54 b
3mx3m	8,69 b	17,65 b	26,00 b	37,71 b
4mx2m	10,58 b	23,00 b	29,84 b	36,64 b

* Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 15: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m³/ha) ao longo do tempo dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Clone	Espaçamento	Idade (meses)			
		24	30	36	42
C41	2mx1m	36,66 a	54,59 a	69,72 a	82,29 a
C11	2mx1m	32,26 ab	51,33 a	64,22 ab	80,81 a
C41	2mx2m	28,55 ab	49,20 ab	61,30 ab	75,73 a
C39	2mx1m	26,95 b	44,20 ab	60,19 ab	74,66 a
C11	2mx2m	26,56 b	41,88 b	51,93 b	59,46 b
C39	2mx2m	21,66 bc	34,01 bc	42,44 bc	48,80 bc
C39	3mx2m	17,60 bc	34,16 bc	48,75 bc	58,18 b
C11	4mx2m	12,71 bc	27,26 bc	33,95 bc	40,17 bc
C41	4mx2m	12,52 bc	24,77 bc	31,87 bc	38,84 bc
C11	3mx3m	9,52 bc	21,52 bc	30,74 bc	41,38 bc
C41	3mx2m	9,22 bc	17,98 bc	28,73 bc	38,51 bc
C39	3mx3m	9,01 bc	17,30 bc	26,26 bc	40,07 bc
C41	3mx3m	7,55 bc	14,12 bc	21,00 bc	31,67 bc
C11	3mx2m	6,53 bc	14,95 bc	21,98 bc	27,92 bcd
C39	4mx2m	6,50 bc	16,96 bc	23,69 bc	30,91 bc

* Médias seguidas pelas mesmas letras são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto ao volume médio por espaçamento os resultados do teste de Tukey indicaram que os espaçamentos 2mx1m e 2mx2m apresentaram valores, estatisticamente, superiores aos demais.

Ao comparar os tratamentos formados pela interação dos fatores clone x espaçamento os resultados indicaram que aos 24 meses os clones C41 nos espaçamentos 2mx1m e 2mx2m, e o C11 no espaçamento 2mx1m, apresentaram volumes estatisticamente superiores aos demais tratamentos ($p < 0,05$), indicando que o espaçamento reduzido tem influência positiva mesmo na fase inicial de desenvolvimento das plantas, conforme relatam Oliveira Neto et al. (2003) e Oliveira et al. (2009) em pesquisas sobre o desempenho de *Eucalyptus* spp. manejados sob diferentes espaçamentos. No entanto, os clones C39 nos espaçamentos 2mx1m e 2mx2m, e o clone C11 no

espaçamento 2mx2m, apresentaram volumes médios semelhantes aos tratamentos menos densos.

A partir dos 30 meses de idade, o clone C39 plantado no espaçamento 2mx1m passou a apresentar diferença não significativa para a produtividade média quando comparado com os clones C41 e C11 no espaçamento 2mx1m e o C41 no espaçamento 2mx2m e aos 42 meses esses quatro tratamentos, sendo três no espaçamento 2mx1m, passaram a apresentar médias de volume semelhantes entre si e estatisticamente diferentes dos demais tratamentos.

A maior produção nos espaçamentos mais adensados já era esperada pelo fato da maior quantidade de indivíduos por unidade de área, uma vez que a análise multivariada para o efeito clone aceitou a hipótese de nulidade indicando que a média de volume entre os clones são semelhantes entre si e que para o fator espaçamento foi aceita a hipótese alternativa.

Dentre os tratamentos testados, destacam-se os clones C41 e C11 plantados no espaçamento 2mx1m e o clone C41 no espaçamento 2mx2m por apresentarem as maiores médias desde o início da mensuração do volume, semelhantes aos resultados encontrados por Berger et al., (2002); Silva, (2005); Magalhães et al., (2006); Oliveira et al., (2009); Reiner et al., (2011).

Ainda corroborando com os resultados encontrados, Botelho (1998) afirma que o maior volume total em plantios mais densos se deve a maior área basal em função do maior número de plantas por hectare. Já Oliveira et al. (2009) advertem que por ser um povoamento jovem esse comportamento pode alterar com o avanço da idade, devido a quantidade de recursos disponíveis na maior área útil para as plantas cultivadas em espaçamentos maiores.

Para Magalhães et al. (2006) em povoamentos mais densos a estabilização do crescimento ocorre mais cedo, acarretando rotações mais curtas e indivíduos de dimensões reduzidas, enquanto que nos espaçamentos mais amplos a rotação é mais longa, mas se espera que a produção volumétrica seja semelhante a do espaçamento reduzido.

A taxa de sobrevivência dos tratamentos em questão foi comparada pelo teste de Tukey (Tabela 16).

Tabela 16: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para a sobrevivência média dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Clone	Espaçamento	Sobrevivência. (%)
C41	2mx1m	72 d
C11	2mx1m	78 bcd
C41	2mx2m	92 abcd
C39	2mx1m	72 d
C11	2mx2m	90 abcd
C39	2mx2m	87 abcd
C39	3mx2m	94 abc
C11	4mx2m	93 abcd
C41	4mx2m	91 abcd
C11	3mx3m	100a
C41	3mx2m	95 ab
C39	3mx3m	96 ab
C41	3mx3m	93 abcd
C11	3mx2m	87 abcd
C39	4mx2m	97 ab

* Médias seguidas pelas mesmas letras são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade.

Diante dos resultados encontrados é possível observar que o espaçamento mais adensado apresentou uma maior mortalidade, provavelmente ocasionada pela maior competição intraespecífica por elementos essenciais ao estabelecimento e crescimento, conforme afirmam Botelho (1998) e Raventós e Silva (2005). Considerando que nos dois últimos

anos a precipitação pluviométrica foi abaixo da média, a competição por água pode ter sido o fator que mais influenciou na maior taxa de mortalidade nos espaçamentos mais adensados.

Diante dos resultados apresentados, pode-se afirmar que mesmo com uma taxa de sobrevivência inferior aos espaçamentos mais amplos, a produtividade de madeira nos espaçamentos menores foi significativamente superior devido ao elevado número de plantas por hectare e, provavelmente, os tratamentos com plantas mais adensadas alcançarão o ciclo de corte mais cedo, devido a elevada competição entre as plantas, produzindo madeira com pequenas dimensões, que são mais adequadas para o uso com finalidades energéticas.

5.2 Crescimento ao longo do tempo no segundo experimento (Clone x Sistema de Manejo)

Esta avaliação correspondeu a comparação do crescimento em volume, entre as idades de 24 e 42 meses, dos três clones de eucaliptos plantados no espaçamento 3mx2m, conduzidos sob o sistema de alto fuste e de talhadia (Tabela 4).

Após análise do teste de esfericidade de Mauchly (Tabela 17) se constatou que a condição de esfericidade foi violada ($p < 0,01$), indicando que os dados de crescimento devem ser estudados por meio da análise multivariada de medidas repetidas.

Tabela 17: Teste de esfericidade de Mauchly para o volume de madeira de três clones de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e talhadia.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr > χ^2
Variáveis transformadas	5	0,004062	86,5652	< 0,0001
Componentes ortogonais	5	0,021412	60,4325	< 0,0001

Nas tabelas 18 e 19, respectivamente, são apresentados os resultados para a análise de variâncias para o efeito da interação clones x sistema de manejo e para o efeito do tempo e as interações tempo x clone, tempo x sistema de manejo e tempo x clone x sistema de manejo.

Tabela 18: Análise de variância para o efeito dos tratamentos (clones x sistema de manejo).

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clone	2	8411,742	4205,871	7,57	0,0045
Sist. Manejo	1	1143,184	1143,184	2,06	0,1696
ClonexSist. Manejo	2	541,890	270,945	0,49	0,6225
Resíduo	17	9447,811	555,750		
Total	22	19544,627	6175,750		

Tabela 19: Análise de variância para o efeito do tempo e as interações tempo x clone, tempo x sistema de manejo e tempo x clone x sistema de manejo.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tempo	3	6977,150	2325,716	159,70	<0,0001
TempoxClone	6	526,870	87,810	6,03	<0,0001
TempoxSist. Manejo	3	660,286	220,095	15,11	<0,0001
TempoxClonexSist. Manejo	6	63,252	10,540	0,72	0,6323
Resíduo	51	742,722	14,560		
Total	69	8970,280	2658,721		

De acordo com os valores observados, constatou-se que as médias de volume ao longo do tempo apresentam diferenças significativas apenas para o efeito clone ($p < 0,05$).

Os resultados para o efeito tempo e para as interações tempo x clone e tempo x sistema de manejo indicam que existem diferenças significativas entre

as médias de volume ao longo do tempo, enquanto que a interação tripla foi não significativa ($p < 0,05$).

Nas tabelas 20, 21 e 22 são apresentados os testes de hipóteses para o efeito tempo, para interação tempo x sistema de manejo e para interação tempo x clone.

Tabela 20: Teste de hipótese do efeito do tempo para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e de talhadia.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0862	52,95	<0,0001
Traço de Pilai	0,9137	52,95	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	10,5909	52,95	<0,0001
Maior Raiz de Roy	10,5909	52,95	<0,0001

Tabela 21: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x sistema de manejo para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e de talhadia.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,4230	6,82	0,0040
Traço de Pilai	0,5769	6,82	0,0040
Traço de Hotelling – Lawley	1,3638	6,82	0,0040
Maior Raiz de Roy	1,3638	6,82	0,0040

Tabela 22: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone para variável volume de madeira dos três de eucaliptos cultivados nos sistemas de manejo de alto fuste e de talhadia.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,4518	2,44	0,0486
Traço de Pilai	0,6220	2,41	0,0493
Traço de Hotelling – Lawley	1,0498	2,55	0,0566
Maior Raiz de Roy	0,8597	4,59	0,0168

Nas duas primeiras situações as hipóteses de nulidade foram rejeitadas segundo os testes Lambda de Wilks, Traço de Pilai, Traço de Hotelling – Lawley e Maior Raiz de Roy, enquanto que para o efeito da interação tempo x clone um teste, o Traço de Hotelling – Lawley indicou a aceitação da hipótese

de nulidade, e os demais rejeitaram esta hipótese, indicando que a avaliação dos valores de volume de madeira ao longo do tempo deve ser realizada de forma isolada para cada período.

Na tabela 23 são apresentados os testes de hipóteses para a interação tempo x clones x sistemas de manejo.

Tabela 23: Teste de hipótese do efeito da interação tempo x clone x sistema de manejo para variável volume de madeira dos três clones de eucaliptos cultivados em cinco diferentes densidades de plantio.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,5387	1,81	0,1304
Traço de Pillai	0,5111	1,83	0,1243
Traço de Hotelling – Lawley	0,7634	1,86	0,1433
Maior Raiz de Roy	0,6120	3,26	0,0489

No caso da interação tripla a hipótese de nulidade foi aceita, indicando que não existe diferença significativa. No entanto o teste Maior Raiz de Roy indicou o contrário, que a hipótese de nulidade deveria ser rejeitada, como apenas um dos quatro testes indicou a rejeição da hipótese de igualdade entre as médias o seu resultado foi desconsiderado (XAVIER, 2000).

Assim como ocorreu na análise dos dados da interação tempo x clone x espaçamento, na área 01, os resultados dos testes de hipóteses multivariados (Tabela 23) quando comparados com o resultado do teste univariado (Tabela 19), constatou-se que a Análise de Variância indicou que a interação entre os três fatores foi significativa enquanto que os testes de hipóteses multivariados indicaram que a interação não foi significativa. Sendo assim a interpretação dos resultados seguiu conforme discutido em Nemeç (1996) e Schmidt (2006) e a interação tripla não foi considerada.

Após análise desses resultados as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com o objetivo de inferir quais clones diferem significativamente

quanto ao volume médio de madeira (Tabela 24) e sobre quais tratamentos diferem significativamente quanto ao volume de madeira produzido ao longo do tempo (Tabela 25), mas uma vez foram considerados os interesses técnicos e biológicos dos resultados encontrados e a classificação das médias se deu apenas no perfil vertical (SCHMIDT, 2006).

Tabela 24: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m³/ha) ao longo do tempo para os três clones de eucaliptos.

Clone	Idade (meses)			
	24	30	36	42
C39	26,13 a	37,92 a	48,59 a	57,69 a
C41	18,93 ab	26,36 ab	34,51 ab	41,88 ab
C11	10,66 b	16,37 b	21,56 b	26,44 b

Tabela 25: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias dos volumes de madeira (m³/ha) ao longo do tempo para os três clones de eucaliptos cultivados em dois sistemas de manejo.

Clone	Sistema	Idade (meses)				Sobrevivência. (%)
		24	30	36	42	
C39	Talhadia	34,67 a	41,69 a	48,44 a	57,20 a	80 a
C41	Talhadia	28,65 a	34,73 ab	40,29 a	45,25 a	67 a
C39	Alto Fuste	17,60 ab	34,16 ab	48,75 a	58,18 a	60 a
C11	Talhadia	14,80 ab	17,80 ab	21,14 a	29,97 a	87 a
C41	Alto fuste	9,22 b	17,98 ab	28,73 a	38,51 a	94 a
C11	Alto fuste	6,53 b	14,95 b	21,98 a	27,92 a	95 a

Em relação aos clones os resultados mostram que o C39 é o mais produtivo, seguido do C11.

Ao comparar os tratamentos formados pela interação clones x sistemas de manejo se observou que nas idades 24 e 30 meses, os clones C39 e C41, conduzidos no sistema de talhadia, apresentaram maiores produtividade. Aos 30 meses o clone C39 cultivado no sistema de alto fuste passou a apresentar média de volume semelhante ao clone C41 conduzido no sistema de talhadia,

a partir dos 36 meses o clone C39 no sistema de alto fuste passou a apresentar melhores valores em relação aos demais tratamentos, sendo o mais produtivo.

Vale ressaltar também a produtividade dos clones C39 e C41 conduzidos no sistema de talhadia, por apresentarem um volume médio muito próximo do tratamento mais produtivo. Isto se explica pelo fato de que nesse sistema silvicultural cada indivíduo foi conduzido com dois fustes por cepa, enquanto que no sistema de alto fuste existe apenas um fuste por planta.

O manejo dos clones C39 e C41 por talhadia apresenta como vantagens o fato de dispensar a produção ou aquisição de mudas, preparo do solo e plantio, reduzir os tratos culturais necessários ao estabelecimento do povoamento (CAMARGO, 1997), reduzir custo de produção por volume de madeira e antecipar os retornos financeiros, devido aos ciclos de cortes serem mais curtos quando comparados ao manejo por alto fuste (LAMPRECHT, 1990; CACAU et al., 2008).

De acordo com Reis e Reis (1997) e Teixeira et al. (2002), a presença de um sistema radicular já estabelecido facilita a absorção de água, nutrientes e o uso de reservas orgânicas e inorgânicas presentes nas cepas e nas raízes e esses são fatores que influenciam, positivamente, para que as plantas conduzidas no sistema de talhadia apresentem um desenvolvimento superior, quando comparadas com plantas no sistema de alto fuste.

No entanto, esta vantagem não permanece indefinidamente e reduz com o aumento da idade, conforme os valores médios observados para os dois sistemas no início das medições, no qual o sistema de talhadia apresentou o volume médio de 26,04 m³/ha, enquanto que no alto fuste o volume foi de

11,18 m³/ha e aos 42 meses o sistema de talhadia apresentou um volume de 44,14 m³/ha e no sistema de alto fuste o volume médio foi de 41,53 m³/ha.

O índice de sobrevivência para os clones conduzidos no sistema de alto fuste variou entre 87% e 95%, semelhante os valores observados por Gadelha et al. (2012) no experimento que originou o sistema de talhadia avaliado neste trabalho. Já Vilas Bôas et al. (2009) estudaram o desempenho de nove espécies de *Eucalyptus* spp. e encontraram taxas de sobrevivência que variaram entre 50% e 85%, enquanto que Quiqui et al. (2001), avaliaram onze espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. e observaram que a taxa de sobrevivência variou entre 71% e 96%.

Considerando que os trabalhos de Vilas Bôas et al. (2009) e de Quiqui et al. (2001) foram conduzidos em regiões de clima ameno, precipitação pluviométrica superior a 1200 mm/ano e sem estação seca definida, Marília – SP e Campo Mourão – PR, características inversas as observadas em Araripina – PE, pode-se afirmar que o índice de sobrevivência apresentado nesta pesquisa é satisfatório.

A taxa de sobrevivência para os clones conduzidos no sistema de talhadia variou entre 60% e 80%. Estes valores são inferiores aos apresentados por Souza (2011), que observou taxas de sobrevivência variando entre 83% e 100%, para oito clones de *Eucalyptus* spp. Mas se comparadas aos valores apresentados por Higa e Sturion (1991), que avaliaram a condução de treze espécies de *Eucalyptus* spp. e por Ferrari et al. (2005), que compilaram dados da condução da rebrota de povoamentos de *Eucalyptus* spp. em duas biorregiões de Minas Gerais, Zona da Mata e Cerrado e encontraram taxas de

sobrevivência variando entre 25% e 100%, os valores encontrados nesta pesquisa são satisfatórios.

Para Ferrari et al. (2005) a determinação do potencial de rebrota de um clone ou espécie deve considerar as características climáticas do local de interesse e avaliar essa potencialidade in loco.

5.3 Modelagem do volume

Os dados de volume das árvores foram submetidos à Análise de Variância (Tabela 26) com o objetivo de avaliar a existência de diferenças significativas entre os volumes das árvores, em função dos tratamentos.

Tabela 26: Análise de variância para os volumes cubados pelo método de Smalian para árvores de três clones de *Eucalyptus* plantados em cinco densidades populacionais.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamentos	14	0,0069	0,0005	4,5080	< 0,0001
Resíduos	225	0,0249	0,0001		
Total	239	0,0318			

Com base na Análise de Variância, verificou-se a existência de diferenças significativas entre as médias de volume ($p < 0,05$) e os dados foram analisados pelo teste de comparação de médias de Scott-Knott com a finalidade de agrupar dados estatisticamente semelhantes. De acordo com o referido teste os tratamentos considerados foram divididos em dois grupos (Tabela 27).

Tabela 27: Teste de Scott Knott para volume médio por árvores de três clones de *Eucalyptus* spp. plantados em cinco densidades populacionais.

Grupo A			Grupo B		
Clone	Esp.	Vol (m ³)	Clone	Esp.	Vol (m ³)
C41	3mx2m	0,0308	C41	2mx1m	0,0211
C41	4mx2m	0,0321	C41	2mx2m	0,0271
C11	3mx2m	0,0318	C41	3mx3m	0,0247
C11	3mx3m	0,0295	C11	2mx1m	0,0204
C11	4mx2m	0,0317	C11	2mx2m	0,0264
C39	2mx2m	0,0300	C39	2mx1m	0,0186
C39	3mx2m	0,0343			
C39	3mx3m	0,0313			
C39	4mx2m	0,0391			

Diante destes resultados as bases de dados foram agrupadas em função dos grupos A com 144 amostras e de B, com 96 amostras. Ao realizar a Análise de Variância para os tratamentos formados pelos clones C41, C11 e C39 conduzidos no sistema de talhadia não se constatou diferenças significativas entre as médias de volume das árvores ($p < 0,05$) e as bases de dados foram agrupadas em um único grupo, chamado de C, contendo 65 amostras.

5.3.1 Grupo A

Na tabela 28 são apresentadas as equações volumétricas geradas após o ajuste dos modelos propostos.

Tabela 28: Coeficientes e estatísticas das equações testadas para a estimativa de volume dos clones que compõe o grupo A, plantados em diferentes densidades populacionais.

Abordagem	Equações	Distribuição	Coeficientes				IAc(%)	S \bar{Y} (%)
			b ₀	b ₁	b ₂	b ₃		
Tradicional	Schumacher e Hall	Normal	0,0235	1,6160	0,9971	***	95,5	7,86
	Silva-Bailey	Normal	0,0199	- 4,6062	0,0110	1,0545	95,6	7,78
	Brody	Normal	- 0,0174	- 0,00931	- 3,5664	- 0,0623	95,4	7,89
	Spurr	Normal	0,0370	0,8613	***	***	95,4	7,95
Simétrica	Schumacher e Hall	t-Student	0,0279	1,6374	0,9359	***	95,4	7,88
	Silva-Bailey	t-Student	0,3843	3,4125	0,0295	0,9063	94,3	8,79
	Brody	t-Student	0,1795	0,2488	-1,2189	-0,0175	90,4	11,65
	Spurr	t-Student	0,0369	0,8522	***	***	95,4	7,97
	Schumacher e Hall	Logística II	0,0235	1,6160	0,9970	***	95,5	7,86
	Silva-Bailey	Logística II	0,4008	3,3081	0,0298	0,91406	93,9	9,20
	Brody	Logística II	0,1879	0,2583	-1,1503	-0,01778	90,7	11,36
	Spurr	Logística II	0,03696	0,8552	***	***	94,2	8,89

No contexto geral, os valores de Índice de Ajuste (IA%) encontrados para as equações geradas indicam que as variáveis independentes utilizadas nos ajustes das equações são satisfatórias para explicar as variações dos volumes.

Tanto nos modelos clássicos quanto nos simétricos as equações geradas apresentaram excelentes desempenhos, explicando cerca de 95% das variações totais dos volumes das árvores, exceto para o modelo de Brody que teve um IA igual a 90,5% quando se adotou que os dados tinham distribuição t-Student, e igual a 90,8% quando se considerou a distribuição Logística II.

O erro médio das estimativas de volume foram inferiores a 10% para quase todas as equações, sendo que apenas as geradas pelo modelo simétrico de Brody apresentaram erros médios acima desse percentual.

Na Figura 3 (A, B, C, D) são apresentadas as distribuições dos erros percentuais entre os volumes reais e estimados para as equações geradas pelos modelos clássicos, enquanto que os resíduos percentuais para equações derivadas dos modelos simétricos são apresentados na Figura 4 (E, F, G, H, I, J, L, M).

Figura 3: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos clássicos para o grupo A.

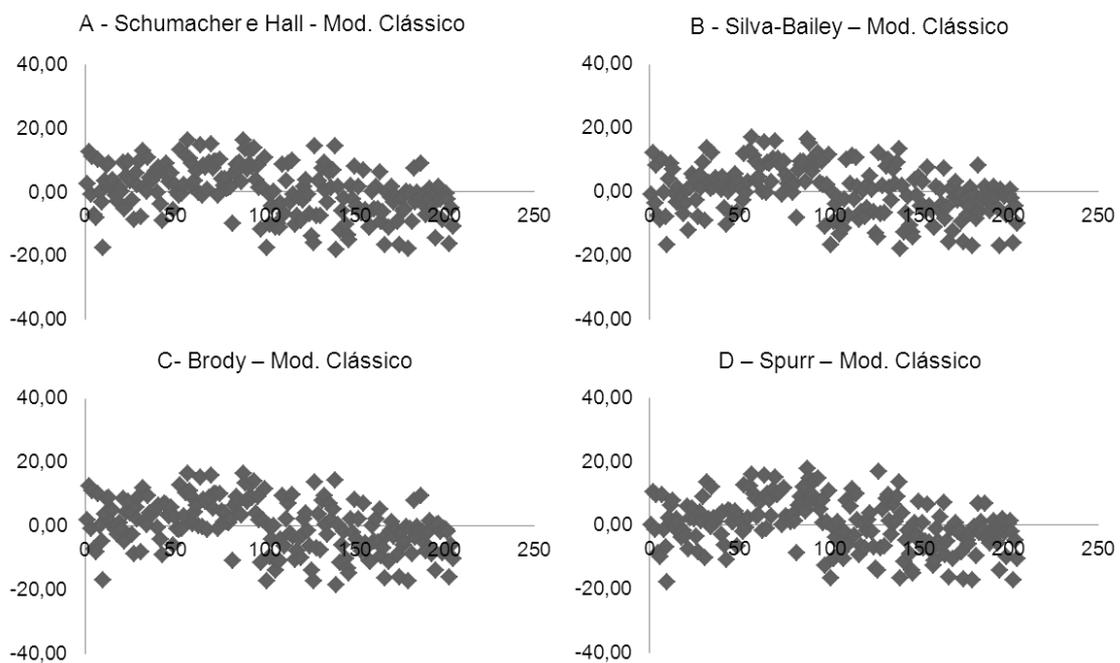
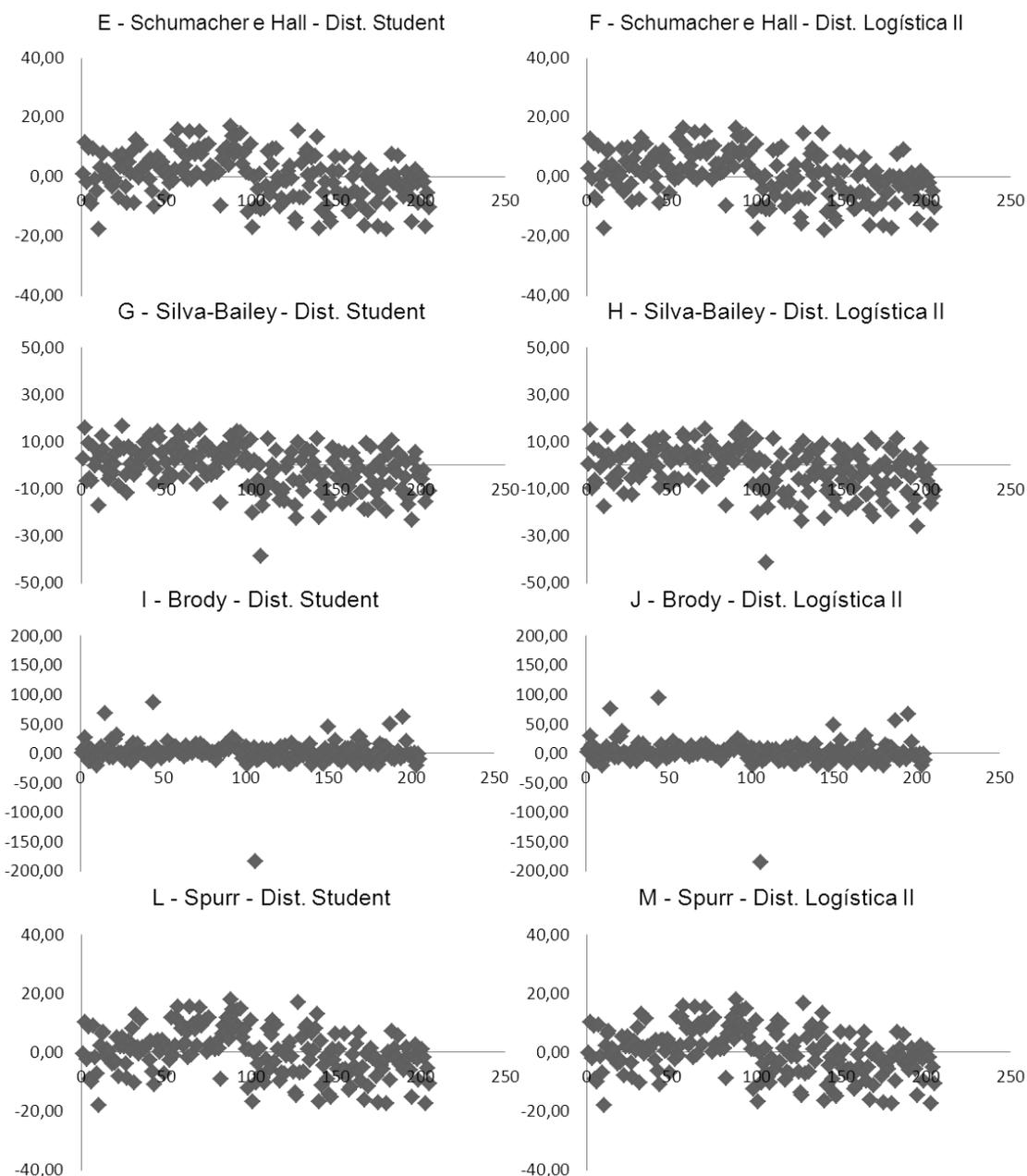


Figura 4: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos simétricos para o grupo A.



As equações geradas pela abordagem clássica proporcionaram uma distribuição residual com valores abaixo dos 20% e sem tendenciosidade, mesmo comportamento apresentado pelo ajuste dos modelos de Schumacher e Hall e de Spurr na abordagem dos modelos simétricos. Já as equações derivadas dos modelos de Brody e Silva-Bailey, apesar de não apresentarem

tendenciosidade, não foram capazes de explicar alguns valores, gerando valores residuais de 50% em Silva-Bailey e de 200% em Brody.

Como os parâmetros de avaliação foram semelhantes para as equações ajustadas foi realizada uma Análise de Variância (Tabela 29) com a finalidade de observar se os volumes estimados pelas 12 equações são estatisticamente semelhantes aos volumes reais.

Tabela 29: Análise de variância comparando os volumes observados versus os volumes estimados pelas equações ajustadas para os tratamentos que compõem o Grupo A, de três clones de *Eucalyptus* spp. plantados em diferentes densidades populacionais.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamentos	12	0,00008654	0,00000721	0,05	0,999 ^{n.s.}
Resíduos	2652	0,36937010	0,00013928		
Total	2664	0,36945664			

O resultado da Análise de Variância indica que não existem diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade, para os volumes médios estimados pelas equações em relação aos volumes observados, indicando que não houve ganho na precisão da estimativa do volume das árvores em função da técnica de modelagem utilizada. Sendo assim, os modelos clássicos e os simétricos de Schumacher e Hall e de Spurr levam vantagem em relação aos demais por não apresentarem tendenciosidade nas estimativas.

5.3.2 Grupo B

Na tabela 30 são apresentadas as equações volumétricas geradas para o grupo B após o ajuste dos modelos propostos.

Tabela 30: Coeficientes e estatísticas das equações testadas para a estimativa de volume dos clones que compõe o grupo B, plantados em diferentes densidades populacionais.

Abordagem	Equações	Distribuição	Coeficientes				IAc(%)	S \bar{Y} (%)
			b ₀	b ₁	b ₂	b ₃		
Tradicional	Schumacher e Hall	Normal	0,0576	1,8771	0,7378	***	96,9	6,75
	Silva-Bailey	Normal	0,0306	-5,2496	0,0149	1,0450	96,8	6,93
	Brody	Normal	-0,0200	-0,0107	-3,9946	-0,0403	96,9	6,79
	Spurr	Normal	0,0354	0,8892	***	***	96,6	7,01
Simétrica	Schumacher e Hall	t-Student	0,05620	1,8740	0,7475	***	96,9	6,75
	Silva-Bailey	t-Student	0,16776	4,6915	0,0114	0,76355	96,4	7,24
	Brody	t-Student	0,12020	0,1815	-1,8074	-0,01888	93,4	9,92
	Spurr	t-Student	0,03560	0,8939	***	***	96,7	6,99
	Schumacher e Hall	Logística II	0,05700	1,8764	0,7419	***	96,9	6,75
	Silva-Bailey	Logística II	0,1727	3,7228	0,02127	0,8264	92,9	10,13
	Brody	Logística II	0,17347	0,2248	-1,1739	-0,0116	94,1	9,40
	Spurr	Logística II	0,03554	0,8932	***	***	96,7	6,99

As estatísticas das equações geradas para as estimativas de volumes mostram excelentes desempenhos, com Índices de Ajuste (IA) indicando que as equações ajustadas explicam mais de 96% da variação total do volume das árvores, exceto as equações derivadas do modelo de Brody nas duas distribuições simétricas estudadas e Silva-Bailey com distribuição simétrica Logística II, que apresentaram IA abaixo dos 95%. Em relação aos erros médios nas estimativas dos volumes todas as equações proporcionaram valores abaixo dos 15%, considerados satisfatórios.

Na Figura 5 (A, B, C, D) são apresentadas as distribuições dos erros percentuais entre os volumes reais e estimados para as equações geradas pelos modelos clássicos, enquanto que os resíduos percentuais para as equações derivadas dos modelos simétricos são apresentados na Figura 6 (E, F, G, H, I, J, L, M).

Figura 5: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos clássicos para o grupo B.

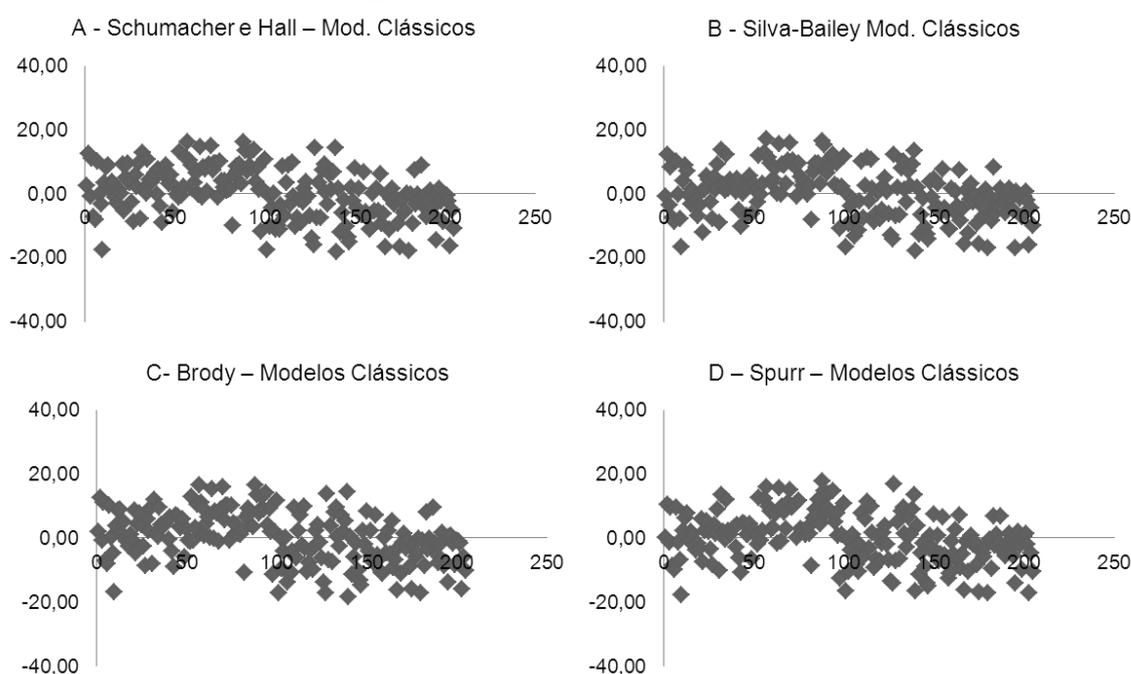
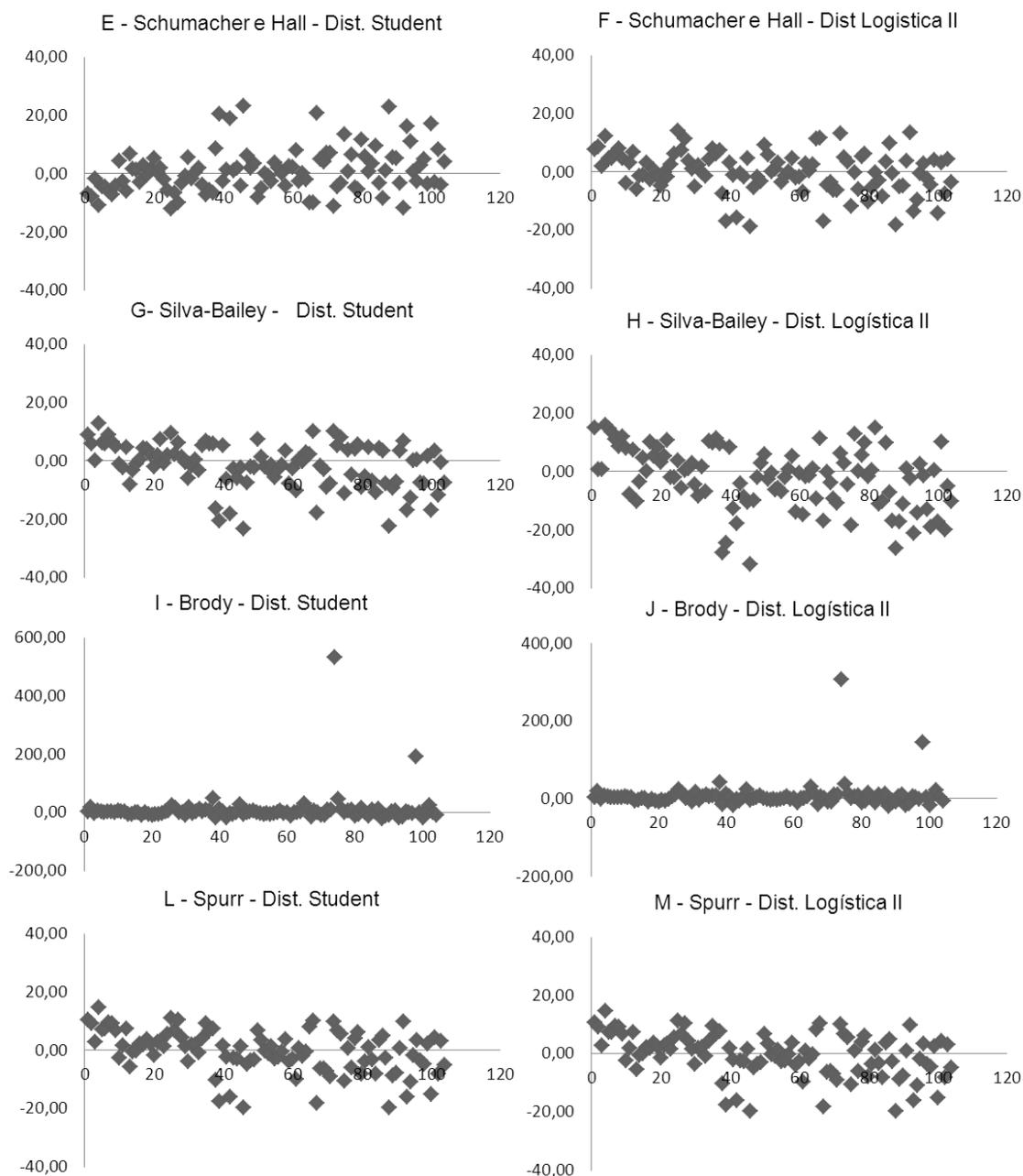


Figura 6: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos simétricos para o grupo B.



Na abordagem clássica os quatro modelos ajustados proporcionaram distribuições residuais semelhantes, com variações inferiores a 20%, sem apresentarem tendenciosidades das estimativas. Na modelagem considerando as distribuições simétricas o resíduo da equação gerada pelo modelo de Schumacher e Hall apresentou leve tendência de superestimação quando se considerou a distribuição de t-Student e leve tendência de subestimação

quando se adotou a distribuição Logística II. As equações originadas a partir dos modelos de Silva-Bailey e Spurr apresentaram tendência de subestimação do volume e as equações derivadas do modelo de Brody não conseguiram estimar alguns volumes de forma eficiente, o que proporcionou erros percentuais acima dos 500% quando se considerou a distribuição de t-Student e erros acima dos 300% na distribuição Logística II, comportamento semelhante ao que ocorreu no ajuste dos dados do Grupo A.

De mesma forma como ocorreu no Grupo A, as estatísticas que permitem selecionar o melhor modelo para estimava dos volumes, principalmente o IAc e o Erro Padrão da Estimativa, foram muito semelhantes, desta forma os volumes estimados pelas referidas equações foram submetidos a Análise de Variância a fim de verificar a existência de diferenças significativas entre as médias (Tabela 31) .

Tabela 31: Análise de variância comparando os volumes observados versus os volumes estimados pelas equações ajustadas para os tratamentos que compõe o Grupo B, de três clones de *Eucalyptus* spp. plantados em diferentes densidades populacionais.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamentos	12	0,00002207	0,00000184	0,02	0,999
Resíduos	1339	0,11133479	0,00008315		
Total	1351	0,11135685			

Assim como ocorreu no Grupo A, o resultado da análise de variância indicou que os volumes médios estimados pelas equações ajustadas são estatisticamente semelhantes, ao nível de 1% de probabilidade, aos volumes observados. Neste caso, tomando como base a distribuição residual pode-se afirmar que as equações derivadas dos ajustes pela abordagem clássica são mais indicadas, uma vez que as equações resultantes dos modelos simétricos

apresentaram tendência nas estimativas. Tal fato pode ser explicado se levar em consideração que os modelos simétricos são mais eficientes quando se trabalha com poucas observações e que não apresentem distribuição normal. No caso deste trabalho, como o número de observações usado nos ajustes dos modelos foi elevado, certamente as suposições de independência nas observações, normalidade e homocedasticidade dos erros foram satisfeitas.

5.3.3 Grupo C

Na tabela 32 são apresentadas as equações volumétricas geradas para o grupo C após o ajuste dos modelos propostos.

Tabela 32: Coeficientes e estatísticas das equações testadas para a estimativa de volume dos clones conduzidos no sistema de talhadia.

Abordagem	Equações	Distribuição	Coeficientes				IAC(%)	S _ȳ (%)
			b ₀	b ₁	b ₂	b ₃		
Tradicional	Schumacher e Hall	Normal	0,0350	1,8254	0,9517	***	96,3	6,49
	Silva-Bailey	Normal	0,0889	5,8512	0,0740	1,0590	96,2	6,63
	Brody	Normal	-0,0034	-0,0209	-7,0388	-0,0847	96,3	6,52
	Spurr	Normal	0,0386	0,9269	***	***	96,4	6,44
Simétrica	Schumacher e Hall	t-Student	0,0367	1,8544	0,9494	***	96,3	6,58
	Silva-Bailey	t-Student	0,3509	5,1646	0,0411	0,7533	96,0	6,79
	Brody	t-Student	0,0994	0,1384	-1,4944	-0,2264	92,6	9,28
	Spurr	t-Student	0,0388	0,9357	***	***	96,4	6,46
	Schumacher e Hall	Logística II	0,0357	1,8389	0,9513	***	96,3	6,49
	Silva-Bailey	Logística II	0,1597	3,1481	0,0083	0,8893	91,8	9,66
	Brody	Logística II	0,0969	0,1385	-1,6146	-0,0234	92,9	9,07
	Spurr	Logística II	0,0387	0,9313			96,4	6,45

Assim como ocorreu nos grupos A e B as estatísticas indicam que os volumes das árvores podem ser estimados pelas equações geradas, pois de acordo com os Índices de Ajuste corrigido (IAC) a maioria das equações ajustadas explica mais de 96% das variações contidas na base de dados. As equações geradas pelos modelos simétricos, Brody com distribuição t-Student e Logística II e Silva-Bailey com distribuição Logística II apresentaram IAC abaixo dos 93%. Os erros médios da estimativa foram inferiores a 10% para todas as equações, valores considerados satisfatórios.

Na Figura 7 (A, B, C, D) são apresentadas as distribuições dos erros percentuais entre os volumes reais e estimados para as equações geradas pelos modelos clássicos, enquanto que os resíduos percentuais para equações derivadas dos modelos simétricos são apresentados na Figura 8 (E, F, G, H, I, J, L, M).

Figura 7: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos clássicos para as árvores conduzidas sob o sistema de manejo de talhadia.

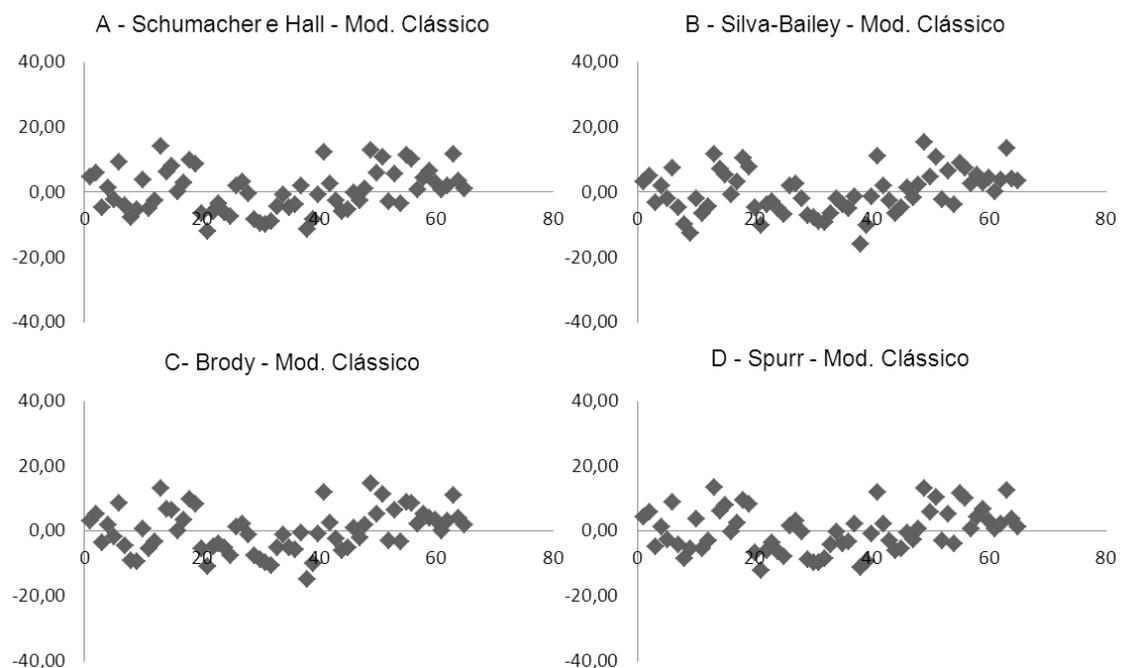
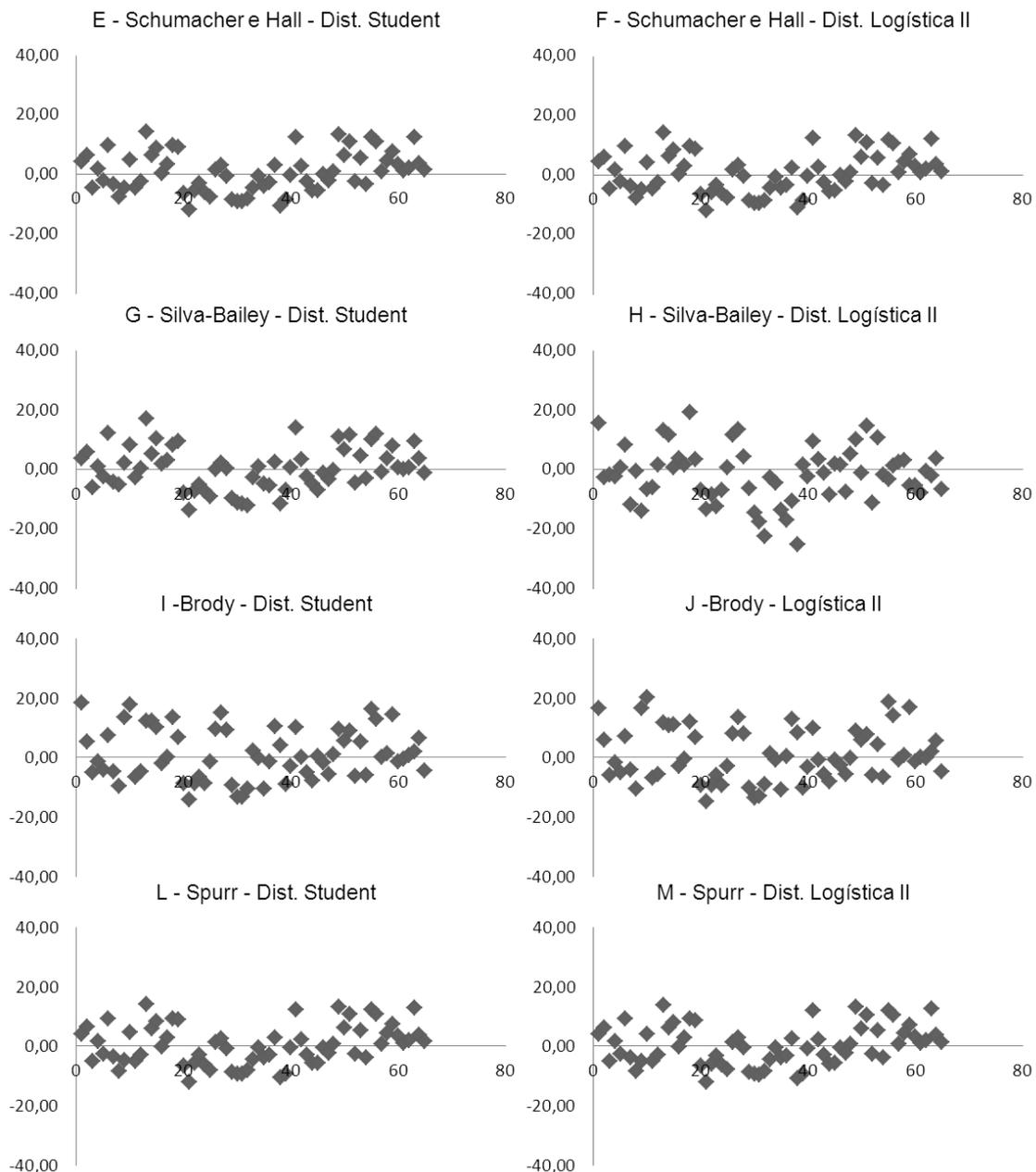


Figura 8: Distribuição dos resíduos referentes às equações geradas pelos modelos simétricos para as árvores conduzidas sob o sistema de manejo de talhadia.



As equações ajustadas a partir da abordagem clássica apresentaram uma leve tendência de superestimação dos volumes, assim como os resíduos gerados pelas equações derivadas dos modelos simétricos de Schumacher e Hall, Silva-Bailey e Spurr também apresentaram leve tendenciosidade, ora subestimando e ora superestimando os volumes. Já os resíduos das equações geradas pelo modelo de Brody não apresentaram problemas com outliers como

nas outras situações e não apresentou tendenciosidade na estimativa do volume.

Mais uma vez as estatísticas que permitem a seleção das melhores equações foram semelhantes e decidiu-se por comparar os volumes estimados por meio de uma Análise de Variância, apresentada na tabela 33.

Tabela 33: Análise de variância comparando os volumes observados versus os volumes estimados pelas equações ajustadas para os tratamentos que compõem o Grupo B, de três clones de *Eucalyptus* spp. plantados em diferentes densidades populacionais.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamentos	12	0,00000211	0,00000018	0,01	0,999 ^{ns}
Resíduos	832	0,02333175	0,00002804		
Total	844	0,02333385			

A análise de variância indicou que os volumes estimados pelas equações ajustadas são semelhantes, ao nível de 1% de probabilidade, em relação ao volume observado, semelhante aos resultados obtidos para os outros dois grupos avaliados. Sendo assim as equações mais indicadas para estimar o volume das árvores conduzidas no sistema de manejo de talhadia são as que foram geradas pelo modelo simétrico de Brody por apresentar distribuição residual livre de tendências.

Analisando os resultados encontrados para os três grupos estudados é possível afirmar que os índices de ajustes encontrados neste trabalho são semelhantes os valores apresentados por Souza e Silva (2008), que ajustaram modelos volumétricos para esses três clones plantados no espaçamento 3mx2m e encontraram IAc variando entre 93,5% e 97,3%, bem como aos valores encontrados por Miguel et al. (2010) que selecionou modelos volumétricos de simples e de dupla entrada para estimativa do volume

individual de *Eucalyptus grandis* e concluiu que o IAc variou entre 91,6% e 98,7%.

Quanto ao erro médio percentual os valores encontrados para os três grupos avaliados se assemelham aos resultados obtidos por Ferreira et al. (1977) ao ajustarem modelos de volume para *Eucalyptus* spp. e encontrarem erros médios entre 4,7% e 7,9% que foram inferiores aos valores que Miguel et al. (2010) encontraram para modelos volumétricos de simples e dupla entrada, que variaram de 20,29% a 23,21%.

A análise gráfica da distribuição dos resíduos, que segundo Schneider et al. (2009) é de grande importância na seleção de modelos por permitir a verificação do ajuste da equação ao longo da amplitude dos dados observados, foi similar à observada por Souza e Silva (2008) ao ajustar modelos volumétricos para clones de *Eucalyptus* spp. plantados no espaçamento 3mx2m em Araripina. Santana et al. (2005) afirmam que valores residuais abaixo de 20% são aceitáveis, devido a dificuldade de conseguir estimar com precisão os volumes de árvores.

Em relação aos modelos simétricos transformados não lineares, Santos et al. (2010) modelaram volumes de *Eucalyptus tereticornis* considerando seis distribuições simétricas para o modelo de Schumacher e Hall e constataram que utilizando a distribuição t-Student a equação gerada apresentou estatísticas superiores aos demais ajustes, no entanto os valores apresentados para o Critério de Akaike (AIC) e Erro Quadrático Médio (EQM), estatísticas utilizadas para selecionar os melhores ajustes, são muito próximos quando se compara com a distribuição Normal.

Lima Filho et al. (2012) ajustaram os modelos de Schumacher e Hall e de Spurr para estimar o volume de árvores de *Eucalyptus* spp. com base no erro percentual da estimativa e constataram que os dois modelos apresentaram melhores desempenhos quando se adotou a distribuição t-Student e distribuição Logística II. Contudo a diferença em relação a distribuição normal foi inferior a 1%, semelhante aos resultados encontrados nesse trabalho. Segundo Lima Filho (2009), quando o número de observações é superior a 30 as diferenças entre as distribuições normal e t-Student são pequenas e à medida que esse número aumenta a distribuição t-Student se aproxima da normal, explicando assim o fato de não se encontrar diferenças significativas entre os volumes estimados.

5.4 Características energéticas da madeira do primeiro experimento (Clone x Espaçamento)

5.4.1 Poder Calorífico Superior

Na tabela 34 são apresentados os resultados das análises de variância, em arranjo fatorial, para o poder calorífico superior da madeira ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 34: Análise de variância para os fatores clone, espaçamento e a interação clone x espaçamento para o Poder Calorífico Superior (PCS) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos no sistema de alto fuste.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clone	2	58287,23	29143,61	1,18	0,3152
Esp.	4	412946,93	103236,73	4,20	0,0057
Clone * Esp.	8	152833,26	19104,15	0,78	0,6253

De acordo com a Análise de Variância o espaçamento é o único fator que apresenta diferenças significativas, indicando que o poder calorífico superior é

semelhante, em função do material genético plantado, e que o espaçamento exerceu influência significativa nessa propriedade da madeira.

Diante deste resultado as médias de poder calorífico superior foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, considerando os valores médios em função apenas do espaçamento (Tabela 35).

Tabela 35: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias do Poder Calorífico Superior (PCS) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos no sistema de alto fuste.

Espaçamento	PCS (kcal/kg)
2mx1m	4121,92 a
2mx2m	3965,50 ab
3mx2m	3964,50 ab
3mx3m	3926,33 b
4mx2m	3873,17 b

Após aplicação do teste de Tukey se constatou que os espaçamentos mais adensados apresentaram valores médios superiores aos espaçamentos 3mx3m e 4mx2m, com destaque para o 2mx1m por ter um poder calorífico superior mais alto em relação aos demais.

Esta tendência de aumento do poder calorífico superior em função do aumento da densidade de plantio também foi constatada por Couto et al. (2004-b), que afirmam que isto ocorre pelo fato de que em espaçamentos reduzidos ocorre maior formação de casca e maior produção de lignina nas plantas, fatores que influenciam positivamente na qualidade energética da madeira. No entanto, como as características da madeira, a exemplo do teor de lignina, variam em função da idade espécie/clone, características anatômicas e propriedades físicas e químicas da madeira conforme relatam Trugilho et al.

(1996) e Montes et al. (2011) essa tendência pode não ocorrer, segundo resultados encontrados por Muller et al. (2005) e Rocha (2011).

Os valores encontrados neste trabalho condizem com as informações de Brito e Barrichelo (1979), que afirmam que a poder calorífico superior da madeira varia entre 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg. No entanto, um pouco abaixo do valor mínimo para o poder calorífico superior de espécies do gênero *Eucalyptus*, conforme os trabalhos de Pereira et al. (2000) e Quirino et al. (2004) que observaram valores variando entre 4200 kcal/kg a 5000 kcal/kg. Variação semelhante a encontrada para espécies nativas do bioma Caatinga segundo Brand et al. (2009) e Santos et al. (2013), que são comumente utilizadas com fins energéticos pelas calcinadoras de gipsita da região do Araripe.

Neste sentido, mesmo com um poder calorífico superior abaixo da madeira consumida pelas calcinadoras os clones de *Eucalyptus* testados levam vantagem pela quantidade de madeira produzida por unidade área, já que, segundo Barros et al. (2010) e MMA/SECTMA (2007) a produção média de uma Caatinga explorada sob regime de manejo florestal varia entre 37,5 m³/ha e 67,5 m³/ha numa rotação estabelecida em 15 anos, enquanto o material genético testado neste trabalho alcançou valores acima dos 70 m³/ha aos 3,5 anos.

5.4.2 Densidade Básica da Madeira

Na tabela 36 são apresentados os resultados obtidos na Análise de Variância para os fatores clones, espaçamentos e a interação clones x espaçamentos, ambos ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 36: Análise de variância para os fatores clone, espaçamento e a interação clone x espaçamento para a Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos no sistema de alto fuste.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clone	2	55051,47	27525,73	22,5	< 0,0001
Esp.	4	5839,49	1459,87	1,19	0,3169
Clone * Esp.	8	18460,63	2307,57	1,89	0,0674

O resultado da Análise de Variância da densidade básica da madeira indica que há existência de diferença significativa entre as médias ($p < 0,01$), no entanto ao realizar a Análise de Variância discriminando os fatores clones e espaçamentos e a interação clone x espaçamento se observou que apenas o fator clone apresentou significância. Tal resultado indica que as médias de densidade básica da madeira dos clones diferem entre si, enquanto que o espaçamento de plantio não interferiu nesta característica da madeira.

Diante deste resultado a comparação das médias foi realizada considerando apenas os clones (Tabela 37).

Tabela 37: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias de Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos no sistema de alto fuste.

Clone	DBM (kg/m ³)
C11 – Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)	638,41 a
C39 – Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	617,80 a
C41 – Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	577,96 b

* Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Com a aplicação do teste de Tukey observou-se que os clones C11 e C39 possuem densidades básicas semelhantes e que diferem do clone C41.

Oliveira (2003) avaliou a densidade básica da madeira de três espécies do semiárido nordestino e da madeira de *Eucalyptus grandis* e encontrou um valor de 929,47 kg/m³ para Jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poir.), 813,22 kg/m³ para Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart), 683,81 kg/m³ para o

marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg) e de 556,00 kg/m³ para o *Eucalyptus grandis*.

Em relação à influência do espaçamento na densidade básica da madeira a literatura não apresenta dados que caracterizem um comportamento definido. Estudos conduzidos por Haselen et al. (2002), Lima et al. (2009) e Paulino (2012) mostraram que existe uma tendência de aumento da densidade básica da madeira em função de um maior espaço vital por planta, enquanto que Brasil e Ferreira (1971), Mello et al. (1971), Sturion et al. (1988) e Couto et al. (2010), concluíram que o espaçamento não exerceu influência significativa na densidade básica da madeira.

Considerando que a massa específica tende a aumentar com a idade, conforme relata Vital (1984) e Moura e Brito (2001) e que os dados avaliados neste trabalho foram coletados apenas aos 42 meses, o resultado encontrado quanto ao fator espaçamento está coerente com a literatura.

Segundo a classificação estabelecida pelo Forest Laboratory Products (1973), os clones C11 e C39 possuem madeiras consideradas muito pesadas, enquanto que a madeira do clone C39 é classificada como pesada, característica desejável para madeiras com finalidades energéticas. Segundo Pereira et al. (2000), as madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade de volume e apresentam como vantagem a necessidade de uma área de estoque e manuseio menor, maior rendimento energético no transporte e maior rendimento das caldeiras para queima direta da madeira. Diante disto, quanto à característica densidade básica da madeira, os três clones testados atendem as necessidades de uso com finalidade energética

nas calcinadoras de gipsita do Polo Gesseiro do Araripe, independente do espaçamento em que forem conduzidos nos povoamentos florestais.

5.4.3 Teor de Cinzas da Madeira

Na tabela 38 são apresentados os resultados das Análises de Variância, em arranjo fatorial, para o teor de cinzas da madeira, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 38: Análise de variância para os fatores clone, espaçamento e a interação clone x espaçamento para o Teor de Cinzas da Madeira (TCM) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos no sistema de alto fuste.

Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clone	2	1,3944	0,6972	10,41	< 0,0001
Esp.	4	11,0418	2,7604	41,23	< 0,0001
Clone * Esp.	8	1,9171	0,2396	3,58	0,0013

Em que: FV = Fonte de Variação; GL – Graus de Liberdade; SQ – Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; F = valor de F.

De acordo com a Análise de Variância os fatores clones e espaçamentos e a interação clone x espaçamento são significativos. Este resultado indica que o teor de cinzas da madeira altera em função dos clones e dos espaçamentos de plantio utilizados.

Diante desse resultado as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 39).

Tabela 39: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias do Teor de Cinzas da Madeira (TCM) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos no sistema de alto fuste.

Clone	Espaçamento	T.C. (%)
C39	4mx2m	1,64 a
C39	2mx2m	1,49 a
C11	4mx2m	1,36 ab
C41	2mx2m	1,33 ab
C41	4mx2m	1,22 ab
C41	3mx2m	1,16 abc
C11	2mx2m	0,90 bcd
C11	3mx2m	0,88 bcd
C41	3mx3m	0,75 bcd
C39	2mx1m	0,74 bcd
C39	3mx2m	0,74 bcd
C41	2mx1m	0,67 cd
C11	2mx1m	0,66 cd
C11	3mx3m	0,45 d
C39	3mx3m	0,42 d

* Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Com a aplicação do teste de Tukey se observou que os clones C39, plantados nos espaçamentos 4mx2m e 2mx2m, C11, no espaçamento 4mx2m, e C41, nos espaçamentos 4mx2m, 3mx2m e 2mx2m, apresentaram teores de cinzas médio, superiores quando comparados aos demais tratamentos, enquanto que os clones C11 e C39, conduzidos no espaçamento 3mx3m, apresentaram as menores médias de teor de cinzas, 0,45% e 0,42%, respectivamente. Também é possível observar que não houve correlação entre o espaçamento de plantio e o teor de cinzas da madeira, semelhante aos resultados encontrados por Ferreira et al. (1997).

Pereira et al. (2000) observaram teores de cinza de 0,3% para *Eucalyptus grandis* aos 10,5 anos de idade, de 1,0% para *Eucalyptus pellita* aos 6,5 anos e 2,0% para *Eucalyptus viminalis* aos 4,0 anos de idade, indicando que há uma

tendência de redução do percentual de cinzas na madeira com o aumento da idade.

Em relação à madeira de espécies nativas do bioma Caatinga, o teor de cinzas varia bastante em função da espécie. Paes et al. (2013) encontraram valores de 0,62% para Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poir.), 1,37% para Jurema vermelha (*Mimosa arenosa* (Wild.) Poir.) e 2,10% para Angico vermelho (*Anadenanthera columbrina* (Vell.) Brenan. Var. cebil (Gris.) Alts.). Em outro estudo sobre madeiras de espécies da Catinga exploradas sob plano de manejo florestal aos 20 anos de idade, Santos et al. (2013) encontraram teores de cinzas de 0,3% para o marmeleiro (*Croton sonderianus* Mull. Arg.), 0,5% para jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poir.), de 1,3% para imburana (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillet) e 1,6% para Catingueira (*Caesalpinia pyrifolium* Mart) e Mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud.)

Madeiras indicadas para fins energéticos devem apresentar baixos teores de cinzas (BOTREL et al., 2010; PAES et al., 2013), que devem ser inferior a 1% para o gênero *Eucalyptus* (OLIVEIRA et al. 2012; CHAVES et al., 2013), uma vez que as cinzas representam a porcentagem de material inerte, que não produz calor (GONÇALVES et al. 2009) e constituem um tipo de resíduo que pode causar poluição do ar (BORLINI et al. 2005) e danos aos fornos de calcinação de gipsita.

Diante destes resultados é possível afirmar que, quanto ao teor de cinzas da madeira aos 3,5 anos de idade, os clones testados apresentam valores com variação semelhante às espécies nativas do Bioma Caatinga, destacando-se o clone C41, plantado nos espaçamentos 2mx1m e 3mx3m, o C11 plantado nos

espaçamentos 2mx1m, 2mx2m, 3mx2m e 3mx3m e o clone C39 nos espaçamentos 2mx1m, 3mx2m e 3mx3m, por produzirem madeira com baixo teor de cinzas e que por isso podem ser consideradas como de boa qualidade.

5.5 Avaliação da madeira do segundo experimento (Clone x Sistema de Manejo)

5.5.1 Poder Calorífico Superior

Na tabela 39 são apresentados os resultados das análises de variância, em arranjo fatorial, para o poder calorífico superior da madeira, ao nível de 5% de probabilidade, dos clones de *Eucalyptus* spp. cultivados em sistema de alto fuste e de talhadia.

Tabela 40: Análise de variância para os fatores clone, sistema de manejo e a interação clone x sistema de manejo para o Poder Calorífico Superior (PCS) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos em dois sistemas de manejo.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clone	2	8730,58	4365,29	1,44	0,2635
Sist. Manejo	1	90160,04	90160,04	29,69	<0,0001
Clone * S. Manejo	2	7118,08	3559,04	1,17	0,3323

Em que: FV = Fonte de Variação; GL – Graus de Liberdade; SQ – Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; F = valor de F.

De acordo com a Análise de Variância o sistema de manejo é o único fator que apresenta diferenças significativas, isto indica que o poder calorífico superior é semelhante em função dos clones plantados, mas que o sistema de manejo exerceu influência significativa nessa propriedade da madeira.

Os clones plantados no sistema de talhadia apresentaram madeira com maior poder calorífico superior, 4088,08 kcal/kg, quando comparados com a madeira produzida no sistema de alto fuste, 3965,50 kcal/kg.

Tendência semelhante foi observada por Goel e Singh (2008) ao avaliarem o potencial energético de *Dalbergia sissoo*, aos 60 meses no qual a madeira produzida no sistema de talhadia apresentou poder calorífico superior maior que a madeira produzida no sistema de alto fuste. Já Souza (2011), também avaliando o potencial energético de clones de *Eucalyptus* spp. encontrou valores de poder calorífico superior para madeira de alto fuste variando entre 3971 kcal/kg e 4384 kcal/kg e para madeira de talhadia variando de 4269 kcal/kg a 4483 kcal/kg, mas não verificou diferenças significativas entre as médias do referido parâmetro.

Quanto à madeira de espécies nativas do bioma Caatinga, Medeiros Neto et al. (2012) apresentam valores médios de 4806 kcal/kg para Ipê (*Handroanthus impertiginosus*) e de 4413 kcal/kg para catingueira (*Poincianella pyramidalis*), que são superiores aos valores encontrados para os clones testados neste trabalho. Esta desvantagem em relação ao poder calorífico das espécies nativas é compensada pela elevada produção de madeira por unidade de área plantada com clones de *Eucalyptus* spp.

5.5.2 Densidade Básica da Madeira

As análises de variância para a densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos em dois sistemas de manejo em Araripina – PE se encontram nas tabelas 41 e 42.

Tabela 41: Análise de variância para a Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos em dois sistemas de manejo.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	5	57084,80	11416,96	8,13	< 0,0001
Erro	54	75850,99	1404,64		
Total	59	132935,79			

Tabela 42: Análise de variância para os fatores clone, sistema de manejo e a interação clone x sistema de manejo para a Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos em dois sistemas de manejo.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clone	2	16027,08	8013,54	5,71	0,0057
Sist. Manejo	1	40189,01	40189,01	28,61	< 0,0001
Clone * Sist. Manejo	8	868,69	434,34	0,31	0,7353

A Análise de Variância detectou a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade. Em seguida, ao discriminar os fatores avaliados, clones e sistema de manejo, observou-se que quando comparados isoladamente eles apresentaram diferenças significativas entre as médias, enquanto que a interação foi não significativa, indicando que não há aumento ou redução na média geral da densidade básica da madeira em função do sistema de manejo adotado.

As médias dos seis tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro (TABELA 43).

Tabela 43: Resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para as médias de Densidade Básica da Madeira (DBM) de clones de *Eucalyptus* spp. em dois sistemas de manejo.

Clone	Sist. Manejo	DBM (kg/m ³)
C39 – Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto Fuste	617,23 a
C11 – Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)	Alto Fuste	615,24 a
C41 – Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	Alto Fuste	592,61 a
C39 – Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	Talhadia	574,39 ab
C11 – Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)	Talhadia	567,36 ab
C41 – Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	Talhadia	532,89 b

Diante do resultado do teste de Tukey é possível observar que o clone C41 foi o único em que massa específica apresentou diferença significativa entre suas respectivas médias, em função do sistema silvicultural adotado.

Resultado semelhante foi encontrado por Souza (2011) ao avaliar seis clones de *Eucalyptus* spp. conduzidos no sistema de alto fuste, talhadia sem desbrota e talhadia com desbrota, em que se observou que quatro dos seis clones testados não apresentaram diferenças significativas entre as médias da densidade básica da madeira, em função do sistema silvicultural adotado.

Os clones conduzidos no sistema de alto fuste apresentaram densidades básicas da madeira média (605,66 kg/m³) superior à média das densidades básicas da madeira dos clones conduzidos no sistema de talhadia (552,91 kg/m³).

Na comparação das densidades básicas de seis genótipos de *Eucalyptus* spp., Zbonak et al. (2007) concluíram que a madeira produzida no sistema de alto fuste apresentou média superior, quando comparada com a madeira produzida pela brotação. Já Valle et al. (2013), também avaliando a massa específica da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* produzidas em primeira e segunda rotação, constaram que não houve diferença estatística para os dois clones, para o sistema de manejo aplicado e para a interação clonexsistema de manejo, concluindo que o aumento ou diminuição da densidade básica da madeira não sofreram influência dos tratamentos aplicados, corroborando parte dos resultados deste trabalho.

Esta variação de resultados encontrada na literatura pode ser explicada pelo fato da densidade básica ser resultante das características anatômicas e

da composição química da madeira e variar em função dos fatores genéticos, climáticos e silviculturais (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989).

Baseado na classificação estabelecida pelo Forest Laboratory Products (1973), as madeiras dos clones C39 e C11 produzidas por árvores de primeira rotação são classificadas como muito pesadas e as madeiras do clone C41, alto fuste e talhadia, e dos clones C39 e C11 em segunda rotação são classificadas como pesadas, atendendo assim ao propósito de madeira para uso energético.

5.5.3 Teor de Cinzas

De acordo com a Análise de Variância não existem diferenças significativas entre os valores médios dos tratamentos comparados, indicando que o teor de cinzas é semelhante entre os clones e entre os sistemas de manejo adotados. Na tabela 44 são apresentadas as médias de teor de cinzas para cada tratamento.

Tabela 44: Valores médios dos teores de cinzas da madeira (TCM) de clones de *Eucalyptus* spp. cultivados em dois sistemas de manejo.

Clone	Sistema	T.C. (%)
C41	Alto Fuste	1,15
C39	Talhadia	1,00
C11	Talhadia	0,91
C11	Alto Fuste	0,88
C39	Alto Fuste	0,73
C41	Talhadia	0,72

Compilando dados sobre as características da madeira de *Eucalyptus* spp., Pereira et al. (2000) relataram teores de cinzas variando de 0,3% a 2,0%, enquanto que Santos et al. (2012), estudando as propriedades físico-químicas da madeira de *Eucalyptus botryoides* encontraram valores variando entre 0,2%

e 1%. Já Trugilho et al. (2006), avaliando as características da madeira de *Eucalyptus saligna* constataram que o teor de cinzas variou entre 0,70% aos 12 meses e 0,22% aos 42 meses, assim como Neves et al. (2013) encontrou teor de cinzas médio de 0,38% aos 55 meses e 0,21% aos 67 meses, indicando que o teor de cinzas na madeira de espécies e clones do gênero *Eucalyptus* tende a reduzir com o aumento da idade.

Em relação à madeira de espécies nativas do bioma Caatinga, Medeiros Neto et al. (2012) encontraram teor de cinzas médio de 3,69% para madeira de Catingueira (*Poincianella pyramidalis*) e de 0,87% para madeira de Ipê (*Handroanthus impertiginosus*) enquanto que Miranda (1989) constatou que a madeira de Catingueira tem 2,11% de teor de cinzas e a madeira de Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) tem 0,61%.

Segundo Oliveira et al. (2012) e Chaves, et al. (2013) os teores de cinzas das madeiras utilizadas para fins energéticos deve ser inferiores a 1% pelo fato da cinza ser um material que não produz calor (GONÇALVES, et al. 2009). Sendo assim, pode-se considerar que quanto a esta característica da madeira o único clone que apresentou um teor de cinzas acima do recomendado foi o C41 conduzido no sistema de alto fuste.

5.6 Caracterização do solo

5.6.1 Análise do perfil do solo

O solo onde os dois experimentos estão sendo conduzidos, eucalipto manejado no sistema de alto fuste, cultura estabelecida há 42 meses (3,5 anos) e outro com eucalipto manejado no sistema de talhadia, cultura estabelecida há 138 meses (11,5 anos), foi classificado como Latossolo

Vermelho Amarelo Distrófico textura argilosa fase transição floresta/Caatinga relevo plano.

Segundo Pignataro Netto (2008) esse tipo de solo sofre influência das altas temperaturas e umidades, típicas de ambientes tropicais, ondem ocorrem chuvas torrenciais e o maior aquecimento do solo, aumentando a suscetibilidade de erosão. No entanto, são solos passíveis de correções e com manejo adequado podem proporcionar excelentes condições para o uso em sistemas agropecuários. Araújo Filho et al. (2000) afirmam que o Latossolo Vermelho Amarelo existente na Chapada do Araripe são solos muito profundos, bem drenados, de boas condições físicas e de fácil manejo e mecanização.

Nas tabelas 45 e 46 são apresentadas informações relativas à caracterização física do perfil do solo no experimento com manejo de alto fuste e talhadia, respectivamente.

Tabela 45: Características físicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de alto fuste.

Horizonte	Prof. (cm)	Densidade (g/cm ³)		Granulometria				Argila natural (%)	Grau de floculação (%)	Classe textural (*)
		Dap	Dr	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
A ₁	0,0-25,0	1,46	2,57	61	14	6	19	6	68	FA
A ₃	25,1-60,0	1,48	2,64	54	17	3	26	2	92	FGA
B ₁	60,1-100,0	1,40	2,63	37	15	14	34	2	94	FGA
B ₂₁	100,1-135,0	1,44	2,65	41	11	19	29	2	93	FGA
B ₂₂	135,1-170,0	1,47	2,65	36	15	11	38	2	95	GA
B ₂₃	170,1-200,0	1,44	2,64	36	14	23	27	2	93	FGA

*FA = franco-arenosa; FGA = franco-argilo-arenosa; GA = argilo-arenosa.

Tabela 46: Características físicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de talhadia .

Horizonte	Prof. (cm)	Densidade (g/cm ³)		Granulometria				Argila natural (%)	Grau de floculação (%)	Classe textural (*)
		Dap	Dr	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
A ₁	0,0-20,0	1,44	2,60	62	14	1	23	4	83	FGA
A ₃	20,1-50,0	1,46	2,60	46	16	10	28	2	93	FGA
B ₁	50,1-80,0	1,44	2,59	45	16	7	32	2	94	FGA
B ₂₁	80,1-110,0	1,41	2,60	42	14	14	30	2	93	FGA
B ₂₂	110,0-150,1	1,39	2,61	39	15	6	40	2	95	GA
B ₂₃	150,1-200,0	1,41	2,60	40	14	16	30	2	93	FGA

*FA = franco-arenosa; FGA = franco-argilo-arenosa; GA = argilo-arenosa

Analisando os resultados é possível constatar que as características físicas dos perfis são semelhantes e indicam que o solo não sofreu alterações em suas propriedades físicas, em função do tempo que está sob o uso da cultura de eucalipto.

Latossolos vermelho amarelo compreendem solos com horizonte superficial (A) e subsuperficial (B) de textura franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa, respectivamente, variando de 19 a 28% no horizonte superior, passando para 27 a 40% no B, onde essa argila se encontra, com maior frequência, totalmente floculada, com muito pouco teor de silte em relação às demais frações, ausência de pedregosidade e equilíbrio entre a drenagem e a retenção de água, características que facilitam o processo de lixiviação (RONQUIM, 2010).

Os valores de densidade indicam ser um solo compactado e que esta característica não sofreu alteração em função do tempo de ocupação dos solos, assim como os demais atributos.

Segundo Almeida (2013), esse tipo de solo é muito utilizado para agropecuária em todo Brasil, mas apresenta limitações de ordem química dificultando o desenvolvimento do sistema radicular. Em condições naturais apresentam baixo teor de fósforo, necessitando de adubação fosfatada e possuem baixa quantidade de água disponível às plantas.

Nas tabelas 47 e 48 são apresentadas informações relativas à caracterização química do perfil do solo no experimento com manejo de alto fuste e talhadia, respectivamente. No geral, é possível observar que os nutrientes estudados se encontram com teores baixos, em virtude de serem solos muito desenvolvidos, bastante intemperizados e altamente lixiviados.

Segundo Cavalcanti (2000) os baixos teores de nutrientes nesses solos são explicados por serem solos que originaram de arenitos, tipo de rocha com baixos teores em elementos essenciais às plantas, como o cálcio, magnésio e potássio, o que explica também a acidez constatada nas análises.

Tabela 47: Características químicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de alto fuste.

Horizontes	Prof (cm)	pH	P	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	T	V	m
		H ₂ O	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----					----- % -----				
A ₁	0-20	5,50	2	1,05	0,45	0,03	0,07	0,15	2,98	1,6	4,7	34	9
A ₃	20,1-50	4,80	1	0,10	0,40	0,02	0,05	0,65	2,15	0,6	3,4	17	53
B ₁	50,1-80	4,50	1	0,10	0,35	0,03	0,05	0,70	2,18	0,5	3,4	16	57
B ₂₁	80,1-110	4,50	1	0,15	0,30	0,04	0,05	0,70	1,94	0,5	3,2	17	56
B ₂₂	110,1-150	4,60	1	0,25	0,45	0,05	0,04	0,50	1,80	0,8	3,1	26	39
B ₂₃	150,1-200	4,50	1	0,05	0,45	0,03	0,04	0,60	1,50	0,6	2,7	21	51

Tabela 48: Características químicas do perfil do solo na área do experimento com eucalipto manejado no sistema de talhadia.

Horizontes	Prof (cm)	pH	P	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	T	V	m
		H ₂ O	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----					----- % -----				
A ₁	0-25	5,60	2	0,80	0,30	0,02	0,09	0,20	2,52	1,2	3,9	31	14
A ₃	25,1-60	5,00	1	0,10	0,30	0,03	0,05	0,45	1,77	0,5	2,7	18	48
B ₁	60,1-100	4,80	1	0,15	0,35	0,02	0,05	0,60	1,70	0,6	2,9	20	51
B ₂₁	100,1-135	4,80	1	0,10	0,35	0,02	0,04	0,65	1,82	0,5	3,0	17	56
B ₂₂	135,1-170	4,80	1	0,20	0,30	0,02	0,04	0,55	1,67	0,6	2,8	20	50
B ₂₃	170,1-200	5,00	1	0,40	0,25	0,02	0,03	0,33	1,26	0,7	2,3	31	30

Ao comparar os resultados dos perfis é possível observar que o pH não apresentou alterações significativas de uma área para outra, mas que outros atributos apresentam valores que indicam possível influência do tempo de uso e ocupação do solo.

No contexto geral o solo em estudo apresenta teores médios e altos de alumínio trocável, o que ocasiona problemas de toxidez às plantas e desequilíbrio nutricional pela diminuição de absorção, principalmente dos cátions trocáveis, indicando se tratar de um solo ácido com pH em água que variou de 4,5 a 5,6, aumentando em relação à profundidade.

A saturação de bases é baixa, com percentagens geralmente compreendidas entre 17 e 34%. O fósforo, nesses ambientes, é o nutriente mais crítico, mas tende a ser maior nos primeiros centímetros, o que parece estar associado à decomposição da matéria orgânica. Os teores de cálcio, magnésio e potássio são relativamente baixos em todos os horizontes, mas tendem a serem menores nos horizontes mais profundos.

As principais limitações desses solos ao uso agrícola decorrem da falta d'água, da baixa fertilidade natural, conforme relata Araújo Filho et al. (2000) e da presença de alumínio trocável em todos os horizontes, o que causa problema de toxidez para a maioria das plantas cultivadas.

5.6.2 Caracterização química dos solos

Diante desses resultados foi realizada uma análise comparativa para os atributos P, pH, CTC e V nas duas áreas ocupadas com eucalipto e numa área com vegetação nativa estabelecida há mais de 10 anos. A escolha dessas características se deu pelos seguintes fatos:

pH – é relativo a acidez do solo e tem influência direta da fertilidade do solo e produtividade das plantas;

CTC – representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$);

V – indicativo das condições gerais de fertilidade do solo;

P – o fósforo foi adicionado pelo fato de não estar inserido em nenhum desses parâmetros e ter importância significativa no desenvolvimento das plantas.

Segundo Ronquim (2010) estes atributos indicam as condições gerais de fertilidade do solo.

Os dados de cada um destes atributos foram submetidos ao teste de esfericidade de Mauchly e de acordo com o resultado observou-se que a condição de esfericidade foi violada ($p < 0,05$) para os quatro atributos estudados, indicando que as observações devem ser estudadas por meio da análise multivariada de medidas repetidas. As análises de variâncias e os testes de hipóteses mostrando a significância dos efeitos ocupação do solo e profundidade de coleta, bem como o teste de esfericidade de Mauchly estão apresentados no Apêndice II.

De acordo com os resultados das análises de variância existem diferenças significativas ($p < 0,05$) para os valores médios do teor de fósforo, pH, Capacidade de Troca de Cátions e Saturação por Bases para efeito ocupação do solo e profundidade de coleta, indicando que as características químicas do solo, alteram em função do uso dado ao solo e da profundidade.

Quanto ao teor de fósforo e a capacidade de troca de cátions os resultados da análise de variância indicaram que os valores médios

apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas na primeira camada de coleta, enquanto que para os valores de pH foram constatadas diferenças significativas nas camadas de 0-5 cm e 5-20 cm. Já para saturação por bases foram verificadas diferenças significativas em todas as profundidades de coleta.

Na tabela 49 são apresentados os resultados do Teste de Tukey para os quatro atributos em função da ocupação do solo e da profundidade de coleta da amostra.

Tabela 49: Resultados do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, para as médias do teor de Fósforo (P), Acidez (pH), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Saturação por Bases (V) em função da ocupação do solo e da profundidade de coleta da amostra.

Ocupação Solo	Atributos	Profundidade de coleta			
		0-5 cm	5-20 cm	20-50 cm	50 - 100 cm
Eucalipto 42 meses	P	6,66 a A	3,06 a B	1,56 a C	1,28 a C
	pH	6,08 a A	5,50 a B	5,03 a C	4,77 a D
	CTC	4,52 b A	3,93 a B	3,04 a C	2,96 a C
	V	57,91 a A	44,05 a B	31,13 a C	25,40 a D
Eucalipto 138 meses	P	3,00 b A	2,16 a AB	1,50 a BC	1,08 a C
	pH	6,14 a A	5,40 a B	4,97 a C	4,72 a C
	CTC	4,97 a b A	4,00 a B	3,51 a BC	3,20 a C
	V	47,75 b A	22,66 b B	15,58 b B	16,83 bB
Vegetação Nativa 120 meses	P	4,00 a b A	2,25 a B	1,25 a B	1,25 a B
	pH	5,15 b A	4,55 b B	4,62 a B	4,52 a B
	CTC	5,67 a A	4,30 a B	3,15 a C	3,05 a C
	V	42,50 b A	21,75 b B	18,75 abB	18,75 abB

* Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os perfis verticais são comparados por letras minúsculas e os perfis horizontais por letras maiúsculas.

O teor de fósforo no solo ocupado com os clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses e com vegetação nativa foi superior ao valor constatado para o solo coberto por *Eucalyptus* aos 138 meses. O menor teor de fósforo na área com *Eucalyptus* aos 138 meses pode estar associado ao fato desse elemento ser um fator limitante no crescimento inicial das plantas, conforme relatam

Fernandes et al (2000) e Graciano et al. (2006), e nessas áreas as plantas obtiveram crescimento inicial superior ao observado para plantas da área de 42 meses, assimilando assim uma maior quantidade de fósforo. Saliente-se ainda, que na área com 138 meses o sistema silvicultura é a talhadia e as plantas conduzidas atualmente, já tinha o sistema radicular formado, o que favorece a assimilação de nutrientes essenciais ao crescimento.

Como o fósforo é um elemento de baixa mobilidade no solo, o maior teor de fósforo na área ocupada com *Eucalyptus* spp. há 42 meses pode ter ocorrido pelo fato dessa área ter recibo adubação química no momento do plantio e ainda existirem resíduos na área.

Effgen et al. (2012), estudando os atributos químicos de um Latossolo vermelho amarelo distrófico com cultivo de eucaliptos aos 5 anos, encontraram teores de fósforo variando entre 1,82 e 2,37 mg/dm³, semelhante aos resultados encontrados neste trabalho. Já Alvarenga e Davide (1999) analisando as características químicas de Latossolo Vermelho Escuro distrófico sob vegetação de Cerrado e cinco diferentes sistemas de uso, dentre eles o cultivo de eucaliptos aos 12 e 180 meses, observaram que o teor de fósforo da vegetação nativa foi estatisticamente semelhante aos teores encontrados nas áreas com reflorestamento. O mesmo comportamento foi observado por Lourente et al. (2011), ao estudarem o efeito do uso e manejo do solo e compararem os teores de fósforo em cinco áreas com diferentes usos, sendo uma com vegetação nativa e outra com reflorestamento realizado com espécies nativas do Cerrado.

De acordo com Cavalcanti (2000) os solos com pH abaixo de 5,1 são considerados fortemente ácidos, variando entre 5,1 e 5,7 são medianamente

ácidos e entre 5,8 e 6,9 são fracamente ácidos. Diante desses parâmetros é possível afirmar que em relação à acidez os solos ocupados pelos clones de *Eucalyptus* spp. apresentam melhores condições, podendo ser classificados como fracamente ácidos, enquanto que o solo da área ocupada pela vegetação nativa é classificado como medianamente ácido.

Vale salientar que, de maneira geral, as essências florestais cultivadas no Brasil são tolerantes a solos ácidos, conforme relatam Bellote e Neves (2001) e Higa e Wrege (2010), ou seja, com pH semelhante aos apresentados nesse trabalho. Diferente das culturas anuais, que exigem solo com pH variando entre 6,0 e 6,5 (RONQUIM, 2010).

Fernandes et al. (2013) avaliando características químicas de solos com plantios de *Eucalyptus* spp. em primeiro e segundo ciclo e solos de mata nativa observaram que o pH dos solos variou entre 4,3% e 4,8% e que esses valores foram estatisticamente semelhantes. Resultado semelhante foi encontrado por Melo et al. (2004) ao avaliar o efeito do reflorestamento com *Eucalyptus* sobre as propriedades químicas do solo em comparação com uma área coberta por vegetação nativa de Cerrado e por Melloni et al. (2008) ao avaliarem as características químicas de solos cultivados com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* e coberto por vegetação nativa.

Segundo Ronquim (2010), a CTC dos solos é a capacidade em adsorver e trocar cátions, sendo importante na fertilidade do solo porque a maioria dos minerais essenciais é absorvida pelas plantas como cátions.

Os valores de CTC encontrados nesse trabalho variaram entre 4,52 e 5,67 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, sendo a CTC encontrada no solo com clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses é inferior às outras duas áreas e, de acordo com Ronquim

(2010), no geral esses valores indicam que o solo tem pequena capacidade de reter cátions em forma trocável e que em caso de adubações se deve optar pela realização de forma parcelada a fim de evitar perdas por lixiviação.

Corroborando com essas informações Lopes e Guilherme (2004) afirmam que solos com CTC variando entre 1 e 5 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ se caracterizam por apresentarem alta percentagem de areias e/ou baixo teor de matéria orgânica, maior potencial de perdas por lixiviação e menor capacidade de retenção de umidade.

Avaliando plantios de *Eucalyptus grandis* em diferentes solos no Estado de São Paulo, Quadros (1996) encontrou uma CTC média de 2,2 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, enquanto que Effgen et al. (2012), estudando os atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de eucaliptos e pastagem encontrou uma CTC de 6,3 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ e 4,9 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Silva et al. (2009), avaliando o impacto de plantios florestais nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo no Cerrado constataram que a CTC nas áreas cultivadas com *Eucalyptus* spp. foi de 11,2 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ e nas áreas cobertas com vegetação nativa foi de 9,6 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, semelhante ao valor encontrado na área com *Pinus* spp. 9,7 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Esta variação de valores de CTC pode ser explicada pelas características do material de origem e pela forma de manejar o solo (LOPES; GUILHERME, 2004).

Os resultados da saturação por bases, que é definida como o percentual de cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, conforme Lopes e Guilherme (2004), indicam que o quantidade de cátions saturando as cargas negativas dos coloides do solo com clones *Eucalyptus* spp. aos 42 meses é, estatisticamente, superior aos encontrados nos solos ocupados por clones de

Eucalyptus spp. aos 138 meses e com vegetação nativa. No entanto, segundo Ronquim (2010), esses valores caracterizam os solos analisados como poucos férteis, $S < 50\%$, e isto pode ser uma influência da acidez do solo e indica que o solo pode conter alumínio em nível tóxico às plantas, comum em áreas tropicais. Apenas na camada superficial, na área ocupada com clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses, constatou-se uma saturação por bases acima de 50%.

Os valores encontrados neste trabalho são superiores aos observados por Quadros (1996), que variaram entre 10% e 18% em plantios de *Eucalyptus grandis*, e por Silva et al. (2009), que observou uma saturação de bases variando entre 8% para vegetação de Cerrado e 13% para solo sob cultivo de eucaliptos. Esta variação de resultados pode ter explicação no fato da saturação de base dos solos ser dependente do clima, material de origem do solo, da vegetação sob o solo, da CTC, do pH e do nível de manejo do solo (SOUZA et al., 2000; REICHERT et al., 2009).

É possível observar que os valores dos quatro atributos analisados decrescem com a profundidade do solo. A camada superficial do solo tende a apresentar melhores características que as demais devido à deposição do material orgânico, seguida da mineralização e liberação de nutrientes, além da baixa mobilidade do fósforo no perfil do solo (MARCOLAN, 2006; SILVEIRA et al., 2010). No caso do pH, a decomposição de restos vegetais nas camadas superficiais do solo elevam o pH por meio da elevação do teor de Ca e Mg, conforme relatam Amaral et al. (2004) e Modesto Silva et al. (2008), explicando assim os resultados encontrados nesse trabalho.

Os decréscimos da CTC e da saturação por bases se explicam pelo fato desses atributos serem diretamente influenciados pelo pH do solo (SOUZA, et al. 2000; LOPES; GUILHERME, 2004; REICHERT et al., 2009).

Este mesmo comportamento foi observado por Souza (1995) ao caracterizar o solo e seus usos na Planície Aluvial do Vale do Pajeú em Serra Talhada – PE, por Quadros (1996) que estudou as características químicas de diversos solos cobertos por plantios de *Eucalyptus grandis*, por Faria et al. (2009) ao analisarem aos atributos químicos de solos sob *Eucalyptus* spp. com diferentes idades e por Melo et al (2004), que estudou o efeito do plantio de eucaliptos nos teores de nutrientes e de carbono orgânico do solo em comparação com áreas de Cerrado.

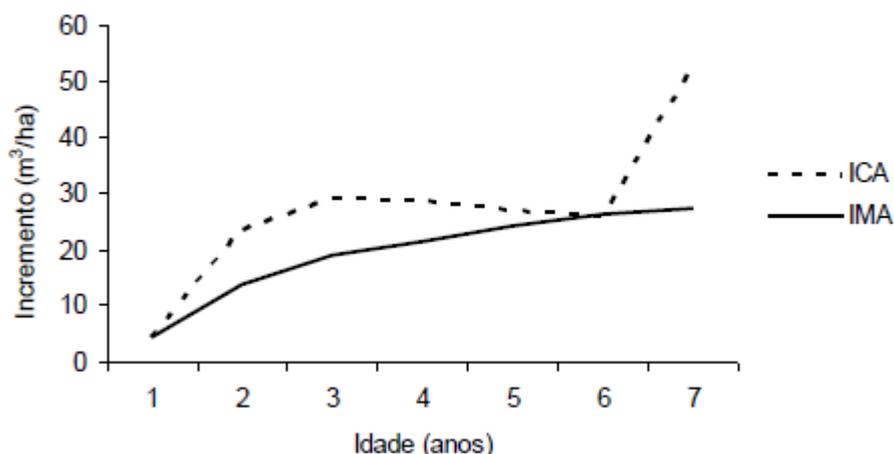
Diante destes resultados é possível afirmar as características indicam que os solos analisados são de baixa fertilidade nas três áreas, característica inerente aos solos tropicais, e que o comportamento observado nesta pesquisa se assemelha a resultados de pesquisas semelhantes.

Do ponto de vista da produtividade dos dois povoamentos de eucaliptos que estão sendo analisados é possível afirmar que as características do solo estão influenciando negativamente no crescimento das árvores, uma vez que as raízes finais das árvores de espécies do gênero *Eucalyptus*, que são as responsáveis pela absorção de água e nutrientes, concentram-se até os 60 cm de profundidade do solo (WITSCHORECK; SCHUMACHER, 2001; WITSCHORECK et al., 2003; SILVA MARTINS et al., 2004; NAVROSKI et al., 2010), e nessas profundidades os atributos químicos do solo não favorecem o desenvolvimento das plantas.

5.7 Avaliação econômica

Os custos, receitas, produções e índices econômicos apresentados neste trabalho foram calculados com dados reais, coletados aos 42 meses, enquanto que para as idades de 48 a 84 meses foram admitidas projeções de crescimento volumétrico, para efeito de simulações econômicas, com base nos resultados encontrados por Rocha (2012) em que o incremento médio anual (IMA) em volume para os clones em questão, plantados no espaçamento 3mx2m foi, praticamente estável entre os 36 e os 84 meses, ocorrendo um aumento significativo no ICA, incremento corrente anual, (Figura 9), após a ocorrência de precipitação pluviométrica acima da média histórica para a região do Araripe. Diante deste contexto, admitiu-se que o IMA registrado para cada um dos três clones plantados nos cinco espaçamentos aos 42 meses, foi o mesmo até os 84 meses e assim, foram estimados os custos, as receitas e os índices econômicos para cada tratamento.

Figura 9: Curvas de Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) para clones de *Eucalyptus* spp. plantados no espaçamento 3mx2m no município de Araripina – PE.



Fonte: Rocha, (2012).

Na tabela 50 é apresentado o resumo da produção volumétrica, do custo de produção e da receita líquida para cada tratamento e no apêndice III são apresentados os valores detalhados.

Tabela 50: Produção em volume, custos e receitas da produção de madeira de eucaliptos plantados em cinco espaçamentos no sistema de alto fuste e conduzidos no sistema de talhadia no espaçamento 3mx2m dos 42 aos 84 meses de idade.

Idade (meses)		42			48			60			72			84		
Cl.	Trat	Prod. (m³/ha)	Custo (R\$)	R. Líquida (R\$)	Prod. (m³/ha)	Custo (R\$)	R. Líquida (R\$)	Prod. (m³/ha)	Custo (R\$)	R. Líquida (R\$)	Prod. (m³/ha)	Custo (R\$)	R. Líquida (R\$)	Prod. (m³/ha)	Custo (R\$)	R. Líquida (R\$)
C41	2mx1m	82,29	8604,84	1269,36	94,04	8936,96	2347,84	117,55	9551,20	4554,80	141,06	10165,44	6761,76	164,57	10779,68	8968,72
C11	2mx1m	80,82	8569,56	1128,24	92,36	8896,64	2186,56	115,45	9500,80	4353,20	138,54	10104,96	6519,84	161,63	10709,12	8686,48
C39	2mx1m	74,66	8421,72	536,88	85,32	8727,68	1510,72	106,65	9289,60	3508,40	127,98	9851,52	5506,08	149,31	10413,44	7503,76
C41	2mx2m	75,74	6028,76	3060,04	86,56	6338,44	4048,76	108,20	6907,80	6076,20	129,84	7477,16	8103,64	151,48	8046,52	10131,08
C11	2mx2m	59,47	5638,16	1497,64	67,96	5892,04	2263,16	84,95	6349,80	3844,20	101,94	6807,56	5425,24	118,93	7265,32	7006,28
C39	2mx2m	48,79	4796,48	1058,32	55,76	5599,24	1091,96	69,70	5983,80	2380,20	83,64	6368,36	3668,44	97,58	6752,92	4956,68
C39	3mx2m	58,17	4737,99	2242,41	66,48	4987,43	2990,17	83,10	5436,31	4535,69	99,72	5885,19	6081,21	116,34	6334,07	7626,73
C41	3mx2m	38,50	4265,91	354,09	44,00	4447,91	832,09	55,00	4761,91	1838,09	66,00	5075,91	2844,09	77,00	5389,91	3850,09
C11	3mx2m	27,93	4012,23	-660,63	31,92	4157,99	-327,59	39,90	4399,51	388,49	47,88	4641,03	1104,57	55,86	4882,55	1820,65
C11	3mx3m	41,37	3798,91	1165,49	47,28	3990,75	1682,85	59,10	4324,43	2767,57	70,92	4658,11	3852,29	82,74	4991,79	4937,01
C39	3mx3m	40,08	3767,83	1041,17	45,80	3955,23	1540,77	57,25	4255,53	2589,97	68,70	4604,83	3639,17	80,15	4929,63	4688,37
C41	3mx3m	31,68	3566,23	234,77	36,20	3724,83	619,17	45,25	3992,03	1437,97	54,30	4259,23	2256,77	63,35	4526,43	3075,57
C11	4mx2m	40,18	3787,85	1033,75	45,92	3975,61	1534,79	57,40	4301,13	2586,87	68,88	4626,65	3638,95	80,36	4952,17	4691,03
C41	4mx2m	38,85	3755,93	906,07	44,40	3939,13	1388,87	55,50	4255,53	2404,47	66,60	4571,93	3420,07	77,70	4888,33	4435,67
C39	4mx2m	30,91	3565,25	143,35	35,32	3721,21	517,19	44,15	3983,13	1314,87	52,98	4245,05	2112,55	61,81	4506,97	2910,23
C39 T	3mx2m	57,19	1857,56	5005,24	65,36	2103,64	5739,56	81,70	2545,80	7258,20	98,04	2987,96	8776,84	114,38	3430,12	10295,48
C41 T	3mx2m	45,26	1571,12	3859,48	51,72	1776,28	4430,12	64,65	2136,60	5621,40	77,58	2496,92	6812,68	90,51	2857,24	8003,96
C11 T	3mx2m	24,96	1083,92	1910,68	28,52	1219,48	2202,92	35,65	1440,60	2837,40	42,78	1661,72	3471,88	49,91	1882,84	4106,36

Os custos de produção aumentaram à medida que o espaçamento foi reduzindo, sentido inverso ao da produção de madeira por unidade de área. O clone C41, no espaçamento 2mx1m foi o tratamento mais produtivo e o de maior custo de implantação e condução do povoamento até a colheita, enquanto que o clone C39, plantado no espaçamento 4mx2m, foi o tratamento de menor produtividade e de menor custo. Os clones plantados no espaçamento 2mx2m se destacaram por terem apresentado melhores lucros líquidos que os demais tratamentos, mesmo com uma produção abaixo dos clones plantados no espaçamento 2mx1m, que tem a receita líquida reduzida em função da quantidade de insumos e do elevado número de mudas necessárias para o plantio nessa densidade. Por outro lado, a produção no espaçamento 2mx2m foi suficiente para gerar uma receita bruta capaz de pagar as despesas e gerar uma receita líquida superior aos tratamentos que tiveram menor custo de implantação, condução e colheita.

Quando se considerou apenas os clones conduzidos no sistema de talhadia, independente da produção de madeira, esses foram os que apresentaram o menor custo de produção e, conseqüentemente, maior lucro líquido, devido à ausência de custos de implantação e significativa redução dos custos de condução do povoamento.

Os valores referentes ao corte e transporte da madeira foram os fatores que influenciaram na diferenciação do custo de produção dentro de um mesmo espaçamento, sendo o 3mx2m, tanto no sistema de alto fuste como no de talhadia onde se verificou maior discrepância nos custos de produção em função dos clones e das diferentes produtividades entre esses materiais genéticos. De acordo com a tabela 51 as operações de colheita e de transporte

respondem em média por 30% dos custos de produção da madeira no sistema de alto fuste e 70% das despesas no sistema de talhadia.

Tabela 51: Composição dos custos da produção de madeira de eucaliptos plantados em cinco espaçamentos e conduzidos no sistema de talhadia no espaçamento 3mx2m dos 42 aos 84 meses de idade.

Idade (meses)		42		48		60		72		84	
Cl.	Esp.	Implantação e manutenção (%)	Colheita e Transp. (%)	Implantação e manutenção (%)	Colheita e Transp. (%)	Implantação e manutenção (%)	Colheita e Transp. (%)	Implantação e manutenção (%)	Colheita e Transp. (%)	Implantação e manutenção (%)	Colheita e Transp. (%)
C41	2mx1m	77,0	23,0	74,7	25,3	70,5	29,5	66,7	33,3	63,4	36,6
C11	2mx1m	77,4	22,6	75,1	24,9	70,8	29,2	67,1	32,9	63,8	36,2
C39	2mx1m	78,7	21,3	76,5	23,5	72,4	27,6	68,8	31,2	65,6	34,4
C41	2mx2m	69,8	30,2	67,2	32,8	62,4	37,6	58,3	41,7	54,8	45,2
C11	2mx2m	74,7	25,3	72,3	27,7	67,9	32,1	64,1	35,9	60,7	39,3
C39	2mx2m	87,8	12,2	76,1	23,9	72,0	28,0	68,5	31,5	65,3	34,7
C39	3mx2m	70,5	29,5	68,0	32,0	63,3	36,7	59,3	40,7	55,9	44,1
C41	3mx2m	78,3	21,7	76,3	23,7	72,3	27,7	68,8	31,2	65,7	34,3
C11	3mx2m	83,3	16,7	81,6	18,4	78,2	21,8	75,2	24,8	72,5	27,5
C11	3mx3m	73,9	26,1	71,6	28,4	67,2	32,8	63,5	36,5	60,2	39,8
C39	3mx3m	74,5	25,5	72,2	27,8	67,9	32,1	64,2	35,8	61,0	39,0
C41	3mx3m	78,7	21,3	76,7	23,3	72,8	27,2	69,4	30,6	66,4	33,6
C11	4mx2m	74,5	25,5	72,3	27,7	68,0	32,0	64,3	35,7	61,1	38,9
C41	4mx2m	75,2	24,8	72,9	27,1	68,7	31,3	65,0	35,0	61,9	38,1
C39	4mx2m	79,2	20,8	77,2	22,8	73,4	26,6	70,0	30,0	67,1	32,9
C39 – T	3mx2m	26,1	73,9	25,4	74,6	23,0	77,0	21,3	78,7	20,0	80,0
C41 – T	3mx2m	30,9	69,1	30,1	69,9	27,4	72,6	25,4	74,6	24,0	76,0
C11 – T	3mx2m	44,7	55,3	43,9	56,1	40,6	59,4	38,2	61,8	36,4	63,6

Na tabela 52 são apresentados os índices VPL (Valor Presente Líquido), B/C (Razão Benefício Custo) e CMPr (Custo Médio de Produção), que permitem avaliar a viabilidade econômica dos tratamentos ao longo do tempo. As taxas de juros, 4%, 6% e 8%, utilizadas para calcular os referidos índices, foram adotadas em função das taxas de juros praticadas nas várias formas de financiamento de atividades florestais e apresentadas pelo Guia de Financiamento Florestal 2013 (SFB, 2013).

Tabela 52: Critérios de avaliação econômica da produção de madeira de eucaliptos plantados em cinco espaçamentos e conduzidos no sistema de talhadia no espaçamento 3mx2m dos 42 aos 84 meses de idade.

Idade (meses)		42			48			60			72			84			
Clone	Esp.	Taxa	4,0%	6,0%	8,0%	4,0%	6,0%	8,0%	4,0%	6,0%	8,0%	4,0%	6,0%	8,0%	4,0%	6,0%	8,0%
C41	2mx1m	VPL (R\$/ha)	547,55	221,27	-84,03	1365,04	928,18	523,29	2942,88	2247,25	1614,61	4385,83	3390,46	2502,21	5701,93	4373,49	3210,29
		B/C	1,07	1,03	0,99	1,16	1,11	1,06	1,32	1,25	1,18	1,46	1,37	1,28	1,58	1,46	1,35
		CMP _r (R\$/m ³)	112,66	116,89	121,24	103,67	108,24	112,99	90,71	95,86	101,31	82,17	87,83	93,94	76,16	82,30	89,04
C11	2mx1m	VPL (R\$/ha)	418,85	98,55	-201,14	1221,66	792,77	395,26	2770,55	2087,56	1466,43	4186,98	3209,68	2337,57	5478,87	4174,53	3032,43
		B/C	1,05	1,01	0,98	1,14	1,09	1,05	1,31	1,23	1,17	1,44	1,35	1,26	1,56	1,44	1,33
		CMP _r (R\$/m ³)	114,28	118,59	123,02	105,12	109,78	114,61	91,93	97,17	102,72	83,23	89,00	95,21	77,11	83,36	90,23
C39	2mx1m	VPL (R\$/ha)	-117,28	-412,64	-689,00	620,84	225,32	-141,24	2048,41	1418,40	845,48	3353,75	2452,14	1647,62	4544,15	3340,76	2287,11
		B/C	0,99	0,95	0,91	1,07	1,03	0,98	1,23	1,16	1,10	1,36	1,27	1,19	1,47	1,36	1,25
		CMP _r (R\$/m ³)	121,73	126,39	131,19	111,81	116,85	122,09	97,53	103,21	109,21	88,12	94,36	101,08	81,49	88,26	95,69
C41	2mx2m	VPL (R\$/ha)	2392,15	2090,79	1808,77	3142,21	2739,18	2365,59	4591,14	3950,17	3367,18	5916,05	4999,48	4181,48	7124,33	5901,52	4830,72
		B/C	1,41	1,36	1,32	1,52	1,46	1,40	1,71	1,62	1,55	1,86	1,75	1,65	1,98	1,85	1,73
		CMP _r (R\$/m ³)	85,16	88,07	91,05	79,17	82,31	85,57	70,36	73,91	77,66	64,56	68,47	72,68	60,49	64,74	69,39
C11	2mx2m	VPL (R\$/ha)	976,22	740,70	520,32	1554,82	1239,95	948,12	2683,22	2182,22	1726,60	3714,60	2998,02	2358,60	4654,75	3698,66	2861,57
		B/C	1,18	1,14	1,10	1,27	1,22	1,17	1,44	1,37	1,30	1,59	1,49	1,40	1,70	1,58	1,47
		CMP _r (R\$/m ³)	101,89	105,59	109,39	94,26	98,27	102,43	83,05	87,57	92,35	75,67	80,64	86,00	70,48	75,88	81,82
C39	2mx2m	VPL (R\$/ha)	577,38	360,42	157,40	513,62	256,59	18,39	1431,79	1022,59	650,51	2270,64	1685,24	1162,96	3034,92	2253,77	1569,97
		B/C	1,12	1,08	1,03	1,09	1,05	1,00	1,25	1,18	1,12	1,38	1,29	1,21	1,49	1,38	1,27
		CMP _r (R\$/m ³)	106,95	111,45	116,09	109,64	114,52	119,58	95,97	101,48	107,30	86,97	93,04	99,57	80,65	87,24	94,47
C39	3mx2m	VPL (R\$/ha)	1733,21	1503,50	1288,58	2298,75	1991,45	1706,65	3401,65	2912,33	2467,37	4409,67	3709,55	3084,87	5328,49	4394,16	3576,19
		B/C	1,38	1,33	1,29	1,48	1,42	1,37	1,66	1,58	1,51	1,81	1,71	1,61	1,93	1,81	1,68
		CMP _r (R\$/m ³)	87,13	90,10	93,15	81,10	84,32	87,66	72,11	75,76	79,60	66,20	70,22	74,55	62,05	66,42	71,22
C41	3mx2m	VPL (R\$/ha)	21,25	-128,84	-269,24	380,23	179,48	-6,51	1095,73	775,58	484,55	1749,00	1290,59	881,74	2343,76	1731,78	1196,27
		B/C	1,01	0,97	0,93	1,09	1,04	1,00	1,24	1,17	1,11	1,37	1,28	1,20	1,47	1,36	1,26
		CMP _r (R\$/m ³)	119,39	123,87	128,48	110,28	115,14	120,19	96,69	102,20	108,01	87,76	93,83	100,37	81,49	88,10	95,35
C11	3mx2m	VPL (R\$/ha)	-898,69	-1006,00	-1106,36	-650,73	-794,21	-927,10	-143,39	-372,64	-580,95	240,33	-81,02	-367,48	739,86	301,11	-82,62
		B/C	0,77	0,74	0,71	0,84	0,80	0,77	0,97	0,91	0,86	1,05	0,98	0,91	1,16	1,07	0,98
		CMP _r (R\$/m ³)	155,49	161,67	168,02	142,93	149,63	156,59	124,20	131,79	139,81	113,79	122,30	131,47	103,24	112,35	122,35

Continua...

C11	3mx3m	VPL (R\$/ha)	806,85	644,85	493,29	1195,46	978,89	778,22	1967,48	1622,38	1308,63	2672,51	2178,57	1737,96	3314,56	2655,28	2078,29
		B/C	1,22	1,18	1,14	1,31	1,26	1,21	1,48	1,41	1,34	1,62	1,52	1,43	1,73	1,61	1,50
		CMPPr (R\$/m³)	98,49	101,97	105,55	91,56	95,34	99,27	81,05	85,34	89,88	74,15	78,89	83,99	69,31	74,48	80,14
C39	3mx3m	VPL (R\$/ha)	694,18	537,42	390,76	1069,15	859,60	665,44	1815,67	1481,70	1178,09	2497,34	2019,31	1592,92	3118,05	2479,99	1921,60
		B/C	1,19	1,15	1,11	1,28	1,23	1,18	1,45	1,37	1,30	1,58	1,49	1,40	1,70	1,58	1,46
		CMPPr (R\$/m³)	100,90	104,49	108,18	93,74	97,65	101,70	82,90	87,33	92,00	75,77	80,67	85,93	70,78	76,11	81,95
C41	3mx3m	VPL (R\$/ha)	-36,91	-159,67	-274,50	249,85	85,81	-66,16	295,63	34,18	-203,44	1361,11	986,30	652,08	1843,43	1343,03	905,27
		B/C	0,99	0,95	0,92	1,07	1,02	0,98	1,07	1,01	0,95	1,34	1,25	1,17	1,44	1,33	1,23
		CMPPr (R\$/m³)	121,28	125,83	130,50	112,24	117,18	122,30	112,36	119,05	126,12	89,50	95,69	102,36	83,18	89,93	97,32
C11	4mx2m	VPL (R\$/ha)	685,27	528,11	381,08	1061,89	851,77	657,08	1810,48	1475,61	1171,17	2494,05	2014,72	1587,18	3116,48	2476,71	1916,81
		B/C	1,19	1,15	1,11	1,28	1,23	1,18	1,44	1,37	1,30	1,58	1,48	1,39	1,69	1,57	1,46
		CMPPr (R\$/m³)	101,19	104,80	108,50	93,99	97,91	101,97	83,10	87,54	92,24	75,95	80,86	86,14	70,93	76,28	82,15
C41	4mx2m	VPL (R\$/ha)	569,52	417,74	275,75	932,17	729,25	541,25	1654,56	1331,13	1037,10	2314,14	1851,16	1438,21	2914,67	2296,69	1755,89
		B/C	1,16	1,12	1,08	1,25	1,19	1,15	1,41	1,34	1,27	1,54	1,45	1,36	1,65	1,54	1,43
		CMPPr (R\$/m³)	103,83	107,56	111,40	96,38	100,44	104,64	85,12	89,72	94,58	77,73	82,80	88,27	72,54	78,07	84,14
C39	4mx2m	VPL (R\$/ha)	-121,42	-241,07	-352,98	157,25	-2,63	-150,72	723,17	468,07	236,21	1239,46	874,11	548,34	1709,09	1221,31	794,60
		B/C	0,97	0,93	0,90	1,04	1,00	0,96	1,19	1,13	1,06	1,31	1,23	1,15	1,41	1,30	1,20
		CMPPr (R\$/m³)	124,33	129,02	133,84	114,99	120,09	125,38	100,84	106,62	112,72	91,54	97,92	104,79	85,01	91,97	99,60
C39 – T	3mx2m	VPL (R\$/ha)	4499,06	4270,60	4056,76	5054,31	4749,59	4467,09	6137,91	5654,29	5214,38	7128,26	6437,46	5820,90	8030,93	7109,94	6303,42
		B/C	3,61	3,57	3,53	3,63	3,59	3,54	3,74	3,68	3,62	3,80	3,73	3,66	3,85	3,77	3,69
		CMPPr (R\$/m³)	33,23	33,62	34,02	33,01	33,45	33,90	32,11	32,63	33,17	31,54	32,13	32,76	31,16	31,82	32,55
C41 – T	3mx2m	VPL (R\$/ha)	3460,85	3280,67	3112,04	3890,22	3650,16	3427,62	4738,76	4357,79	4011,28	5513,86	4969,72	4484,13	6219,90	5494,51	4859,37
		B/C	3,37	3,32	3,27	3,39	3,34	3,29	3,50	3,44	3,37	3,58	3,50	3,42	3,63	3,54	3,45
		CMPPr (R\$/m³)	35,66	36,15	36,65	35,39	35,94	36,52	34,25	34,90	35,59	33,53	34,27	35,07	33,05	33,89	34,80
C11 – T	3mx2m	VPL (R\$/ha)	1694,07	1596,05	1504,33	1910,25	1780,16	1659,59	2461,56	2247,66	2053,16	2767,96	2473,28	2210,44	3139,57	2746,85	2403,23
		B/C	2,66	2,61	2,56	2,69	2,63	2,57	2,90	2,82	2,74	2,91	2,81	2,72	2,97	2,86	2,75
		CMPPr (R\$/m³)	45,14	46,03	46,94	44,66	45,66	46,70	41,43	42,58	43,78	41,28	42,63	44,08	40,41	41,93	43,59

* Valores negativos de VPL e abaixo de 1 para B/C indicam inviabilidade econômica da atividade.

Dependendo da taxa de juros aplicada, a produção de madeira dos três clones conduzidos no sistema de alto fuste já apresenta viabilidade econômica aos 42 meses de idade, sendo o espaçamento 2mx2m o único em que todos os clones apresentaram VPL positivo e razão B/C acima de 1, com destaque para o clone C41 que apresentou um VPL de R\$ 2393,15/ha e uma razão B/C que indica uma rentabilidade de 1,41 vezes o valor investido, a uma taxa de juros de 4% a.a. Os clones C41 e C11, plantados no espaçamento 2mx1m, também apresentam retorno econômico já aos 42 meses, exceto quando a taxa de capitalização considerada é de 8%, enquanto que o clone C39 só passa a ter VPL positivo aos 48 meses e nas duas menores taxas de desconto.

No espaçamento 3mx2m o clone C39 foi o único que, aos 42 meses, apresentou VPL positivo. O C41 nessa idade tem VPL positivo somente se a taxa de juros for de 4% a.a. enquanto que o clone C11 permanece inviável economicamente até os 78 meses. No espaçamento 3mx3m se destacam os C11 e C39 por serem economicamente viável desde os 42 meses de idade, enquanto que no espaçamento 4mx2m são os clones C11 e C41 que apresentam VPL positivo desde a primeira idade avaliada.

Os clones conduzidos no sistema de talhadia apresentaram VPL e razão B/C muito acima dos demais tratamentos, o que se explica pelo fato de não haver custo de implantação do povoamento. O clone C39 ainda aos 42 meses apresentou VPL de R\$ 4499,06/ha quanto a taxa de juros foi de 4%, valor muito acima do VPL encontrado para o clone C41 plantado no espaçamento 2mx2m, que foi o que obteve o maior retorno financeiro dentre os tratamentos do sistema de alto fuste.

O custo médio do m³ de madeira produzido, assim como o VPL e a razão B/C, variou bastante em função do clone, do espaçamento e do sistema de manejo adotado. Ao contrário do VPL, o CMPr aumenta a medida que aumenta a taxa de capitalização e nos casos em que o VPL foi negativo o CMPr foi superior ao preço do m³ da lenha pago pelas calcinadoras da região do Araripe atualmente, que varia entre R\$ 115,00 e R\$130,00.

Aos 42 meses de idade, e com taxa de juros de 4% a.a. os clones C41 (2mx2m), C39 (3mx2m) e C11 (3mx3m) foram os únicos que apresentam um CMPr abaixo de R\$ 100,00/m³, e que aos 84 meses se espera que estejam abaixo dos R\$ 70,00/m³. Já os clones conduzidos no sistema de talhadia apresentaram um custo médio de produção do m³ muito abaixo dos demais tratamentos testados, com destaque para os clones C39 e C41 que tiveram um CMPr abaixo dos R\$ 40,00/m³ ainda aos 42 meses, chegando próximo dos R\$ 30,00/m³ aos 84 meses quando a taxa de juros foi de 4% a.a.

Rocha (2012) avaliou o clone C39 plantando no espaçamento 3mx2m aos 90 meses e encontrou um VPL que variou de R\$ 8371,80 (6% a.a.) a R\$ 4881,80/ha (12% a.a.). De acordo com as simulações realizadas, o clone C39 no espaçamento 3mx2m, aos 84 meses, terá um VPL de R\$ 4394,16/ ha quando a taxa de desconto for de 6%. Essa diferença pode ter explicação pelo fato de que no período de crescimento das árvores avaliadas não ocorreram estiagens prolongadas como as registradas nos anos de 2012 e 2013 e que, certamente, interferiram no desenvolvimento das árvores avaliadas nesse experimento.

Ao avaliar o retorno econômico de plantios de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividade acima da região do Araripe e considerando uma taxa

de juros de 6% a.a., Oliveira et al. (2008) encontraram um VPL médio de R\$ 2687,57/ha no espaçamento 3mx2m e R\$ 2493,31/ha no espaçamento 3mx3m, sendo desconsiderados os casos em que o VPL foi negativo.

Dentre os tratamentos testados no sistema de alto fuste o clone C41 no espaçamento 2mx2m e o C39 no 3mx2m foram os que apresentaram melhor retorno financeiro do investimento e, conseqüentemente, o menor custo de produção do m³ de lenha, sendo também esses os clones que apresentam os melhor índices econômicos no sistema de alto fuste. Saliencia-se ainda que, esse retorno financeiro pode ser mais atrativo caso sejam introduzidos materiais genéticos mais adaptados às condições climáticas da região e que sejam desenvolvidas pesquisas relacionadas ao aumento da produtividade em função da aplicação de técnicas de manejo do povoamento e do solo, adaptadas para a região do Araripe.

6 CONCLUSÕES

No sistema de manejo de alto fuste os três clones plantados no espaçamento 2mx1m e o clone C41 no espaçamento 2mx2m foram os tratamentos que apresentaram maiores produtividades, sendo o C41 no 2mx2m o que apresentou maior taxa de sobrevivência.

Na comparação entre os clones conduzidos nos dois sistemas de manejo o clone mais produtivo foi o C39 no sistema de talhadia e no sistema de alto fuste. Os clones manejados sob o sistema de alto fuste apresentaram maiores taxas de sobrevivências.

Os modelos ajustados na abordagem clássica, com destaque para o de Schumacher e Hall foram os mais indicados para os tratamentos que compõe o Grupo A, no Grupo B os quatro modelos ajustados pela abordagem clássica apresentaram melhor desempenho e no Grupo C o modelo com melhor desempenho foi Brody, na abordagem simétrica.

Em relação ao poder calorífico da madeira se constatou a madeira produzida nos espaçamentos mais adensados apresentou os maiores valores. Ao comparar a madeira do espaçamento 3mx2m nos sistemas de alto fuste e de talhadia se constatou que o poder calorífico superior da madeira produzida no sistema de alto fuste apresentou os melhores valores.

Quanto à densidade básica da madeira produzida no experimento 01, conclui-se que o espaçamento não exerceu influência sobre esta propriedade e que os clones C11 e C39 apresentaram valores superiores ao clone C41.

Na comparação da madeira produzida no espaçamento 3mx2m, nos sistemas de alto fuste e de talhadia, os resultados mostraram que a densidade básica da madeira não diferiu, estatisticamente, em função do sistema de

manejo das árvores, e o único tratamento que apresentou densidade básica inferior foi o clone C41, no sistema de talhadia.

O teor de cinzas da madeira produzida no experimento 01 sofreu influência significativa do fator clone e do fator espaçamento e não apresentou um comportamento definido em relação a esses fatores. Na comparação da madeira produzida pelos clones plantados no espaçamento 3mx2m nos sistema de alto fuste e talhadia, constatou-se que o teor de cinzas médio é estatisticamente semelhante para os três clones nos dois sistemas de manejo.

Após a análise financeira foi possível concluir que os clones C41 no espaçamento 2mx2m e o C39 no 3mx2m foram os que apresentaram maior valor de VPL e, conseqüentemente, menor custo médio de produção por m³ de madeira.

O clone C39, conduzido no sistema de talhadia, foi o que apresentou maior valor de VPL e menor custo médio de produção do m³ de madeira.

Quanto aos atributos do solo se conclui que na área com cultivo de eucalipto as características químicas do solo foram semelhantes as do solo da vegetação nativa, sendo no geral pouco férteis e que esses fatores, provavelmente, estão afetando negativamente a produtividade de madeira nos dois experimentos estudados e que o manejo adequado do solo poderá aumentar o retorno financeiro da cultura.

Por fim, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao entendimento da dinâmica do solo como forma de aumentar a produtividade de madeira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8644: **Determinação do poder calorífico superior da madeira e do carvão vegetal**. Rio de Janeiro, 1984.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: Semeiar Editora e Gráfica, 2013. 148 p.

ACERBI JUNIOR, F. W, et al. Modelo para prognose do crescimento e da produção e análise econômica de regimes de manejo para *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.699-713, 2002.

AFONSO JUNIOR, P. C; FILHO, D. O.; COSTA DOUGLAS, R. Viabilidade econômica da produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 28-35, 2006.

ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 442 p.

ALVARENGA, M.I.N. e DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 23, p. 933-942, 1999.

ALMEIDA, E. P. C.; SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Latossolos Vermelho-Amarelos**. Brasília. Embrapa, 2013. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html>. Acesso em 12 de Fevereiro de 2014.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p.115-123, 2004.

ANTONANGELO, A.; BACHA, C.J.C. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 207-209, 1998.

ARAÚJO FILHO, et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 378p.

ARAÚJO, L. V. C. de; RODRIGUEZ, L. C. E.; PAES, J. B. Características físico-químicas e energéticas da madeira de nim indiano. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 57, p. 153-159, 2000.

ARAÚJO, S.M.S. **O Pólo Gesseiro do Araripe: Unidades Geo-Ambientais e Impactos da mineração**. 2004 276 f. Tese (Doutorado em Ciências, Área de

administração e política de Recursos Minerais). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BAETTIG, R. et al. Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles em Chile: estado Del arte. **Bosque**. Chile, v. 31, n. 2, p. 891-99, 2010.

BARCELLOS, D.C. et al. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v.2, p.141-158, 2005

BARROS, B. C. et al. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no Polo Gesseiro do Araripe. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 641-647. 2010.

BATISTA, D. C., KLITZKE, R. J., SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674. 2010.

BARTH, A. et al. Custos na produção de eucalipto em uma propriedade rural no município de Boa Vista do Buricá – RS. In: Congresso Nacional de excelência em gestão, 7, 2012. Niterói – RJ. **[Anais...]**

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; ICERI, P. M. Crescimento do *Eucalyptus grandis* plantado em diferentes solos no Estado de São Paulo, Brasil. In: Congresso brasileiro sobre florestas energéticas, 1. 2009, Belo Horizonte. **[Anais...]** Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

BELLOTE, A. F. J.; NEVES, E. J. M. **Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas, Circular Técnica 54, 6p. 2001.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria v.12, n.2, p.75-87, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2.ed. São Paulo, Ícone, 1999. 355p.

BORLINI, M. C. et al. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. Parte I: características da cinza. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 319, p. 192-196, 2005 .

BOTELHO, S.A. **Espaçamento**. In: SCOLFORO, J.R.S. Manejo florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, cap. 9, p. 381-405. 1998.

BOTREL, M. C. G. et al. Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Scientias Forestalis**, Piracicaba. v. 38, n. 86, p. 237-245, 2010.

BRAND, M. A. et al. Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para geração de energia. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 5; Seminário de Eficiência Energética no Setor Elétrico, 1., 2009, Belém. [Anais...] Belém, 2009. 8p.

BRAND, M. A. **Energia da biomassa florestal**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2010. 131 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2011: Ano base 2010**, Empresa de pesquisa energética, Rio de Janeiro, 2011, 266 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2013: Ano base 2012**, Empresa de pesquisa energética, Rio de Janeiro, 2013, 288 p.

BRASIL, M. A. M. e FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**. Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 129 – 149. 1971.

BRITO, J. O. Usos energéticos do *Eucalyptus grandis*. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, 9., 1994, Concordia. **Anais...** Entre Rios, 1994. p. 1-14.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 21, n. 59, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-0142007000100015&lng=enandothersandothersandothersandothers&nrm=iso>. Acesso em: 10 Mai. 2012.

BRITO, J.O. e BARRICHELO, L.E.G.; ESALQ-USP; Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, v.16, p.63-78, 1978.

BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. **Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia**. Piracicaba, IPEF, 1979. 14p. (Circular Técnica, 52).

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

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva de madeira**. Brasília: IICA/ MAPA/ SPA, 2007. 84p.

BUFALINO, L. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, p. 129-137, 2012.

CACAU, F.V. et al. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.43, n.11, p. 1457-1465. 2008.

CAMARGO, F. R. A.; SILVA, C.R.; STAPE, J.L. Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. Série Técnica **IPEF**, Piracicaba. v.11, n.30, p.115 – 122, 1997.

CAMPELLO, F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da Região do Araripe – PE**. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2011.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548p.

CARVALHO, S. P. C. **Uma nova metodologia de avaliação do crescimento e da produção de *Eucalyptus* sp clonal para fins energéticos**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010.

CAVALCANTI, F. J. A. **Vantagens da aplicação conjunta de calcário e gesso agrícolas nos solos da Chapada do Araripe**. Recife. Instituto Agrônomo de Pernambuco – Folhetos Explicativos. Recife. 2000. Disponível em: <<http://www.ipa.br/resp13.php>>. Acesso em 10 de Fevereiro de 2014.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Importância e vantagens da biomassa**. Disponível em <<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/125ucalyptus125.htm>>, 2012. Acesso em: Abril de 2012.

CHAUL, T. N.; TIBIRIÇÁ, L. G. **Viabilidade econômica de florestas de eucalipto no estado de Goiás**. 2006. Disponível em <http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prograd/graduacao/home/secao.asp?id_secao=1896&id_unidade=36>. Acesso em Janeiro de 2014.

CHAVES, A. M. B. et al. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-543, 2013.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John, 333p, 1983.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

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

COUTO, L. C. et al (b). Programa de pesquisa para avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v.1, n. 1, p. 107-112, 2004.

COUTO, C. S. et al. Avaliação de propriedades físicas de clone de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Revista Florestal Latino Americana**. Mérida. v. 25, n. 1, p. 49–60. 2010.

COUTO, H.T.Z. *et al.* – Comparação de dois modelos de prognose de madeira de *Eucalyptus* para alto fuste e talhadia. **IPEF**, n. 41/42, p. 27-35, 1989.

CORTEZ, C. L. et al. Análise do processo produtivo do eucalipto no sistema “short rotation” para uso como combustível em uma usina termoeletrica. In: Congresso internacional de bioenergia, 4., 2009. **Anais...** Curitiba, 2009. p. 1-7.

CYSNEIROS, F. J. A.; PAULA, G. A.; GALEA, M. **Modelos simétricos aplicados**. Águas de São Pedro/SP: 9ª Escola de Modelos de Regressão. 2005. 89p.

DAWSON, W. M. e McCrackent, A. R. The performance of polyclonal stands in short rotation coppice willow for energy production. **Biomass and Bioenergy**. Britain, v. 8, n. 1, p. 1-5, 1995.

DETMANN, E. et al. **Métodos de análises de alimentos**: INCT – Ciência Animal. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora. 2012, 214p.

EFFGEN, E. M. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. v. 40, n. 95, p. 375-381. 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. Ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA SOLOS. Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento do Recife. **Solos do Nordeste**. 2006. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html>. Acesso em: 12 de dezembro 2013.

FAO – Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y La alimentación. **Bosques y energía: Cuestiones clave**. Roma, 2008. 69 p.

FARIA, G. E. et al. Características químicas do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto e em diferentes profundidades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.799-810, 2009.

FERNANDES, J. S. Avaliação da qualidade de solo sob cultivo de *Eucalyptus* em diferentes ciclos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 352-361, 2013.

FERNANDES, L. A. et al. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1191-1198, 2000.

FERREIRA, C. A. et al. Estimativa do volumen de madeira aproveitável para celulose em povoamentos de *Eucalyptus* spp: Determinação de equações para o cálculo do 127ucalyp de povoamentos de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 29-50, 1977.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Scientia Florestalis**, Piracicaba. n.45, p.22-30, 1992.

FERREIRA, G. W. et al. Qualidade da celulose kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p.41-63, 1997.

FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. **Condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia**. Colombo: Embrapa Florestas (Documentos, 104). 28 p .2005.

FIALA, M. e BACENETTI, J. Economic, energetic and environmental impact in short rotation coppice harvesting operations. **Biomass and Bioenergy**. Aberdeen 2012. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411003953>>, 2011. Acesso em 08/ Mai. 2012.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**. Piracicaba, v. 2, n.3, p. 67-74. 1981.

FPL - FOREST PRODUCTS LABORATORY – **Standard terms for describing wood**. USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory research Paper, Madison, n. 171, p. 1-10. 1973.

FRANCELINO, M. R. et al. Contribuição da Caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão norte-rio-grandense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n. 1, p. 79-86, 2003.

GADELHA, F.H.L. et al. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe-PE. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 331-341, 2012.

GOEL, V. L. e SINGH, B. Growth and productivity potential of *Dalbergia sissoo* in short rotation coppice system on sodic soil. **Indian Journal Forestry**, Dehradun. v. 31, n. 4, p. 491-499, 2008.

GOLDEMBERG, J. e LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3 Ed. São Paulo, Edusp, 2008. 400 p.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**. São Paulo, v. 32, n. 3, 2009.

GOLDEMBERG, J. e LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 21, n. 59, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf>>. Acesso em 27. Abr. 2012.

GONÇALVES, J. E. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Agriambi**. Campina Grande, v.13, n.5, p.657–661, 2009.

GRACIANO, C. et al. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 236, p. 202-210, 2006.

GUEDES, M.C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v, 30 p.267-280, 2006.

HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M. Propriedades de flexão estática da madeira e umidade e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v.12, n.2, p.147-152, 2002.

HIGA, R.C.V.; STURION, J.A. Avaliação da brotação de treze espécies de *Eucalyptus* na Região de Uberaba-MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo. v.22-23, p.79-86, 1991.

HIGA, R. C. V.; WREGGE, M. S. **Zoneamento climático de Eucalyptus grandis para a região Sul do Brasil**. Colombo, Embrapa Florestas, Documentos 209, 23 p. 2010.

ITEP / LAMEPE. **Médias históricas da chuva (mm) de janeiro a dezembro para o Estado de Pernambuco (1980 – 2008)**. Disponível em: <http://www.itep.br/LAMEPE.asp>. Acesso em: 01 Nov. 2010.

KHATTREE, R.; NAIR, D. N. **Applied multivariate statistics with SAS software**. 2 ed. Cary, NC: SAS Institute, 1999. 340 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas, possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LANGE, K. L. et al. Robust statistical modeling using the t distribution. **Journal of the American Statistical Association**. v. 48, n. 408, p. 881-896, 1989.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LEMOS DA SILVA, M. C. **Procedimentos para análise de fertilidade do solo**. In: FIGUEIREDO, M. V. B. Manual de práticas laboratoriais: um guia para pesquisa. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, cap. 20, p. 369-382. 2013.

LEITE, H.G. e ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. Ed. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LIMA, I.L.; MONTEIRO, B.F.S.; LONGUI, E.L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn, **Revista Cerne**, Lavras. v.15, n.2, p.244-250, 2009.

LIMA, E. A. de; ABDALA, M.; WENZEL, A. **Influência da umidade no poder calorífico superior da madeira**. Colombo: Embrapa Florestas (Comunicado técnico, 220). 3 p. 2008.

LIMA, E. A. de. **Alternativa para estimar o preço da madeira par a energia**. Colombo: Embrapa Florestas (Comunicado técnico, 260). 3 p. 2010.

LIMA FILHO, L. M. A. **Modelos simétricos transformados não lineares com diferentes distribuições dos erros: Aplicações em Ciências Florestais**.

2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

LIMA FILHO, L. M. A. **Modelos simétricos não lineares de produção e crescimento em volume de clones de *Eucalyptus* spp.** 2012. 118 f. Tese (Doutorado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

LIMA FILHO, L. M. A. et al. Modelagem do crescimento de clones de *Eucalyptus* usando o modelo de Chapman-Richards com diferentes distribuições simétricas dos erros. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 777-785, 2012.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de Análise de Solo – Conceitos e Aplicações.** Boletim Técnico nº 2. São Paulo: ANDA. 50 p. 2004

LOURENTE, E. R. P; et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** Curitiba: A. Figueiredo Filho, 309 p. 2003.

MACHADO, S.A. et al. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbastes em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v.4, n.2, p.185-196, 2002.

MAGALHÃES, J. G. R. **A resposta da natureza.** In: MELLO, M. G. Biomassa energia dos trópicos em Minas Gerais, Minas Gerais, Editora UFMG, 2001. p. 251 – 260.

MAGALHÃES, W. M. et al. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus* spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Florestal & Ambiente.** Seropédica, v. 12, n. 2, p. 01-07, 2006.

MARCOLAN, A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo.** Porto Alegre, 2006. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAUCHLY, J. W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. **Annals of Mathematical Statistics**, Beachwood, OH, v. 11, n.2, p. 204-209, 1940.

MAZUCHELI, J. e ACHCAR, J. A. Algumas considerações em regressão não linear. **Revista Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n.6, p. 1761-1770, 2002.

McKAY, H. Short Rotation Forestry: review of growth and environmental impacts. Forest Research Monograph, 2, **SRF Review**, Forest Research, Surrey, 212 p. 2011.

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

MELLO, H.A. et al. Influencia do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solo de Cerrado. **IPEF**, v.2, n.3, p.03-30, 1971.

MELO, J. T. RESCK, D. V. S. GOMES, A. C **Efeito de procedências de *Eucalyptus camaldulensis* sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico do solo no cerrado**. Planaltina, Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 142, 17 p. 2004.

MELO, R. R. et al. **Viabilidade econômica do manejo florestal sustentável no Assentamento “Uirapuru”, em área de Caatinga, no sertão do Rio Grande do Norte**. In: 3º Congresso brasileiro de Extensão Universitária. Florianópolis, 2006.

MELO, R. R. e CATARINA, T. Alternativas e caracterização da caatinga em assentamentos rurais no Estado do Rio grande do Norte. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. V. 3, n. 2, p. 126-131, 2008.

MELLONI, R. et al. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 06, p. 2461-2470, 2008.

MIGUEL, E. P. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no Município de Ri Verde-GO. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v. 6, n. 11, p. 01-13. 2010.

MIRANDA, G. **Potencial energético de três espécies florestais da região semi-árida do Nordeste do Brasil**. 1989. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

MMA (Ministério do Meio Ambiente)/SECTMA (Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente), **Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico florestal**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2007, 91 p.

MODESTO SILVA, J.C.P. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2563-2572, 2008.

MONTES, C. S. Calorific value of *Prosopis 131ucalypt* and *Balanites aegyptiaca* wood: Relationships with tree growth, wood density and rainfall gradients in the West African Sahel. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 35, n.1,p. 346-353, 2011.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil (Eucalypt cultivation in Brazil)**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 31, n. 68, p. 363-372, 2011.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 175p. 2010.

MOTTA, D. *et al.* **Rentabilidade na plantação de eucalipto**. In: VII Simpósio de Excelência em gestão e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2010.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Influência da desrama artificial sobre a densidade básica, a composição química e as características dos traqueídeos da madeira de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr. et Golf.. **Rev. Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, p. 369-374, 2001.

MULLER, M. D. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

MULLER, M. D.; COUTO, L. **Avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa**. Belo Horizonte. CEMIG / RENABIO, 2009. 68 p.

NAVROSKI, M.C. *et al.* Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Recife, Pe. **Rev. Bras. de Ciências Agrárias**, Recife, v.5, n.4, p.535-540, 2010.

NEMEC, A. F. L. **Analysis of repeated measures and time series: an introduction with forestry examples**. Victoria, B.C. Work, 1996, 90p.

NEVES, T. A. *et al.* Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Ver. Cienc. Agrar.**, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

NETER, J.; WASSORMAN, W.; KUTNER, M. **Applied linear statistical models**. 3.ed. Editors Donnelley & Sons Company, 1990. 1181p.

NOGUEIRA, L. A. H. e LORA, E. E. S. **Dendroenergia; fundamentos e aplicações**. 2 Ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2003. 200 p.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2003.

OLIVEIRA, A. C. et al. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**. Curitiba, v. 42, n. 1, p. 59-68, 2012.

OLIVEIRA, D. O. et al. Avaliação econômica de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose. **Cerne**. Lavras, v.14, n.1, p. 82-91, 2008.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Denh. em reposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 15–23, 2003.

OLIVEIRA, T. K. et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira Colombo**, n. 60, p. 01-09, 2009.

ORMOND, J. G. P. (Comp.) **Glossário de termos usados em atividades agropecuárias, florestais e ciências ambientais**. 3. Ed. Ver. E atualizada. Rio de Janeiro: BNDES, 2006. 316 p.

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

PAULA, R.R. et al. Propriedades edáficas e desenvolvimento de eucalipto em topossequência na Flona Mário Xavier - RJ. **Floresta & Ambiente**. v,16, p. 344-351, 2012.

PAULINO, E. J. **Influência do espaçamento e da idade na produção de biomassa e na rotação econômica em plantio de eucalipto**. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina. 2012.

PEREIRA, J. C. C. et al. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Floresta (Documentos, 38), 113 p. 2000.

PIGNATARO NETTO, I. T. **Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. Brasília, 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Universidade de Brasília, 2008.

QUADROS, R M B. **Avaliação nutricional em plantios de *Eucalyptus grandis*, em diferentes solos, no estado de São Paulo**. Curitiba, 1996. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. 1996.

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.

QUIRINO, W. F. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

RAPASSI, R.M.A. *et al.* Cultura do eucalipto na região de Suzanópolis, Estado de São Paulo: Análise econômica. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 4, 2008.

RAVENTÓS, J.; SILVA, J.F. Competition effects and responses to variable numbers of neighbours in two tropical savanna grasses in Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.11, n.1, p.39-52, 1995.

REICHERT J. M. *et al.* **Solos florestais**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 209 p. 2009.

REINER, D., SILVEIRA, E., SZABO, M. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região Sudoeste do Paraná. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 06, n. 1, 2011.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica – IPEF**, v.11, n.30, p.9 – 22, 1997.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e Social de Projetos florestais**. 2ª edição Editora UFV, VIÇOSA-MG. 386p. 2008.

RIBASKI, J. Cultivo do Eucalipto. 2010. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivadoEucalipto/>>. Acesso em: 28 nov. 2013.

RIBEIRO, N. *et al.* **Manual de silvicultura tropical**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane/FAO, 2002. 125p.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, Cap. 1. p. 65-75. 2010.

ROCHA, M.F.V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2011.

ROCHA, K. D. **Produtividade volumétrica de clones de *Eucalyptus* spp. Na Região do Polo Gesseiro do Araripe**. 2012. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife – PE, 2012.

RONDON, E.V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, v.26, p. 573 - 576, 2002.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8. 26p. 2010.

ROSA, S.F. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus* spp.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria: RS. 2010.

SANTANA, C; et al. Sistema de equações para simulação do crescimento e da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ES. Sem desbaste baseado no modelo de Clutter. **Ambiência**, Guarapuava. v.1 n.2, p. 239-256, 2005.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* com enfoque energético. Dissertação.** 2009. 91 f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, C. S. A. Modelos simétricos transformados não-lineares com aplicação na estimativa volumétrica em híbrido de *Eucalyptus tereticornis* no Polo Gesseiro do Araripe. In: Simpósio Nacional de probabilidade e Estatística, 19. 2010. São Pedro – SP. **[Anais...]**.

SANTOS, P. S. B. Caracterização da madeira de *Eucalyptus botryoides* no sentido radial. In: Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, 13. 2012, **[Anais...]** Vitória, 2012.

SANTOS, R. C. et al. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 491-502, 2013

SAS Institute Inc. **SAS/STAT User's Guide, Version 8**, Cary, NC: SAS Institute Inc. 1999.

SCHMIDT, P. **Perdas fermentativas na ensilagem, parâmetros digestivos e desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de cana-de-açúcar.** 2006. 228 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SCOLFORO, J. R. **Mensuração florestal. Módulo 4:** Avaliação da produtividade florestal através da classificação do sítio. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 138 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal:** modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p. (Textos Acadêmicos).

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping mean in the analysis of variance. **Biometrics**, Alexandria, v.30, p. 507-512, 1974.

SCHLAEGEL, B. E. **Testing, reporting, and using biomass estimation models. In: Southern forest biomass workshop.** Georgetown. Proceedings Clemson: Clemson University, v. 127, p. 95-112, 1981.

SCHNEIDER, P.R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal.** Santa Maria: UFSM, 2009. 294p.

SCHNEIDER, P.R. e SCHNEIDER, P.S.P. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: UFSM, 2008. 566p.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. **Guia de financiamento florestal.** Brasília: SFB, 2013. 54 p.

SHIMOYAMA, V. R. de S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. Série Técnica **IPEF**, v. 6, n. 20, p. 1-22, 1989.

SCHULTZ, H. The standard error of a forecast from a curve. **Journal of the American Statistical Association**, v. 25, p. 139-185, 1930.

SILVA, A. M. N. et al. A biomassa florestal (lenha) como insumo energético para os artesãos da Cidade de Tracunhaém – PE. **Custos e agronegócio.** Recife, v. 4, n. 3, p. 126-137. 2008.

SILVA, C. R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região Nordeste do Estado de São Paulo.** 2005. 50 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, D. A. et al . Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1588-1595. 2012.

SILVA, F. A. S. **Assistat (Assistência estatística).** versão 7.6. 2011. Disponível em <http://www.assistat.com/indexp.html#down>. Acesso em Dezembro de 2013.

SILVA, L. G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília. v. 44, p.613-620, 2009.

SILVA MARTINS, L. F. et al. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido. **Scientia Forestalis.** Piracicaba, n. 65, p. 207-218. 2004.

SILVA, J.A.A. **Pontencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no Polo Gesseiro do Araripe – Pernambuco.** Recife, Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agronômicas, vols. 5 e 6, p. 301-319, 2008-2009.

SILVA, J. A. A.; BAILEY, R. L. O uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n.2, p. 199-206, 1991.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3. Ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 235 p. 2002.

SILVEIRA, P. M. et al. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.

SOARES, T. S. et al. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal.** Garça. N. 8, 2006.

SOUZA, A. L. e GAMA, J. R. V. **Prognose da produção de florestas multiâneas.** 2010. Disponível em <www.ufv.br/def/disciplinas/ENF642/PROVA_3/Aula%20-%20Prognose.pdf> Acesso em 02 de Janeiro de 2013.

SOUZA, A. R. **Solos da Planície Aluvial do Vale do Pajeú em Serra Talhada (PE): Ambiente agrícola e uso da terra.** 1995. 145 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

SOUZA, A. R. et al. Caracterização e interpretação para uso agrícola de um Planossolo Háplico Eutrófico Sódico do Agreste pernambucano. In: Reunião Nordestina de Ciência do Solo, 1., 2013, Areia. [**Anais...**] (a)

SOUZA, A. R. **Procedimentos para análise física do solo.** In: FIGUEIREDO, M. V. B. Manual de práticas laboratoriais: um guia para pesquisa. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, cap. 20, p. 361-367. 2013 (b)

SOUZA, F. P. **Crescimento e potencial energético de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clones de eucalipto.** 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SOUZA, L. H. et al. Efeito dos níveis de saturação por bases nos componentes de acidez de quatro Latossolos sob cafeeiros na Bahia. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1. 2000. Poços de Caldas. **Anais...** P. 1412-1416.

SOUZA e SILVA, S.M.F. **Comparação entre equações volumétricas regionais e equações baseadas em volume da primeira tora em clones de *Eucalyptus* na chapada do Araripe-PE.** 2008, 58 f. Dissertação (Mestrado em ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Ciência Florestal, 2008.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento florestal**. Santa Maria: UFSM, 2000. 70 p.

STOLARSKI, M. et al. Short rotation willow coppice biomass as an industrial and energy feedstock. **Industrial Crops and Products**. v, 33. p. 217-223, 2011.

STURION, J. A., PEREIRA, J. C. D. e CHEMIN, M. S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e da idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 16, p. 55–59. 1988.

TEIXEIRA, P. C. et al. *Eucalyptus urophylla* root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecology and Management**, v.160, p. 263 – 271, 2002.

TRABADO, I. G. et al. **Global 138eucalyptus map**. 2009. Disponível em: <http://git-forestry.com/download_git_eucalyptus_map.htm>. Acesso em 12 mai. 2012.

TRUGILHO, P. F., LIMA, J. T. MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

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

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 20, n.1, p. 137- 145, 2010.

VALLE, M. L. A. et al. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 481-490, 2013.

VANCLAY, J. K. Growth models for tropical forests: a synthesis of models and methods **Forest Science**, Bethesda, v. 41, n. 1, p. 7-42, 1995.

VIDAURRE, G. B. et al. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Ver. Árvore**, Viçosa. v.36, n.2, p.365-371, 2012.

VILAS BÔAS, O. MAX, J. C. M. MELO, A. C. G. Crescimento comparativo de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* no município de Marília – SP. **Ver. Inst. Flor**. São Paulo, v. 21, n. 1, p. 63–72, 2009.

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

XAVIER, L. H. **Modelos univariado e multivariado para análise de medidas repetidas e verificação da acurácia do modelo univariado por meio de simulação**. 2000. 104 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

XAVIER, A. e SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, San Pedro de Montes de Oca. v. 34, n. 1, p. 93-98. 2010.

WEST, P. W. **Tree and Forest Measurement**. 2nd Edition Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 190 p. 2009.

WITSCHORECK, R. et al. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **R. Árvore**. Viçosa, v. 27, n.2, p. 177-183. 2003.

WITSCHORECK, R e M. V. SCHUMACHER. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid. no município de Santa Maria (RS). In: Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal, 2. 2001. Santa Maria. **Anais...** p. 589 - 602.

WWF (World Wide Fund For Nature). **A energia da floresta Ibérica: Caracterização do mercado e quadro legal**. WWF Report, 35 p. 2011.

ZBONAK, A.; BUSH, T.; GRZESKOWIAK, V. **Comparison of tree growth, wood density and anatomical properties between coppiced trees and parent crop of six Eucalyptus genotypes**. IUFRO, Durban, 10p, 2007.

APÊNDICE I

```
Data modelos simetricos;
Input trat id DAP h C2H v;
datalines;
    3    36    0.302 11.20 1.019 0.0385
    3    36    0.261 10.90 0.741 0.0289
    ...
    12   42    0.223 9.1   0.453 0.0178
    12   42    0.311 11.4  1.099 0.0358
;
run;
```

***/ MODELO DE SCHUMACHER E HALL;**

**/PROC NLP MODELO SIMETRICO NORMAL;*

```
proc nlp data=arvore cov=2 pcov vardef=n covariance=h maxiter=10000;
```

```
max loglikO;
```

```
parms B0=0.0235, B1=1.616, B2=0.9971, phi=1;
```

```
media=b0*(DAP**b1)*(h**b2);
```

```
u=((v-media)**2)/phi;
```

```
loglikO=(-0.5)*log(phi)-u/2;
```

```
title Normal;
```

```
run;
```

**/PROC NLP MODELO SIMETRICO t STUDENT;*

```
proc nlp data=arvore cov=2 pcov vardef=n covariance=h;
```

```
max loglikO;
```

```
parms B0=0.0235, B1=1.616, B2=0.9971, phi=1;
```

```
media=b0*(DAP**b1)*(h**b2);
```

```
u=(v-media)**2/phi;
```

```
    m=3;
```

```
    den=gamma((m+1)/2)/gamma(1/2)*gamma(m/2);
```

```
t1=m**(m/2);
```

```
t2= t1*(m+u)**(-(m+1)/2);
```

```
ger=t2/den;
```

```
loglikO=-0.5*log(phi)+log(ger);
```

```
title Student;
```

```
run;
```

```
*/PROC NLP MODELO SIMETRICO LOGISTICA II;
proc nlp data=arvore cov=2 pcov vardef=n covariance=h;
  max loglikO;
  parms B0=0.0235, B1=1.616, B2=0.9971, phi=1;
  media=b0*(DAP**b1)*(h**b2);
  u=(v-media)**2/phi;
  ger= exp(-u**0.5)/(1+exp(-u**0.5))**2;
  loglikO=-0.5*log(phi)+log(ger);
  title LII;
run;
```

APÊNDICE II

Tabela 53: Teste de esfericidade de Mauchly para o teor de fósforo nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr $> \chi^2$
Variáveis transformadas	5	0,2046	113,7836	< 0,0001
Componentes ortogonais	5	0,2370	103,2408	< 0,0001

Tabela 54: Teste de esfericidade de Mauchly para o pH nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr $> \chi^2$
Variáveis transformadas	5	0,3973	66,1944	< 0,0001
Componentes ortogonais	5	0,5666	40,7436	< 0,0001

Tabela 55: Teste de esfericidade de Mauchly para a Capacidade de Troca de Cátions nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr $> \chi^2$
Variáveis transformadas	5	0,7234	23,2206	0,0003
Componentes ortogonais	5	0,8478	11,8351	0,0371

Tabela 56: Teste de esfericidade de Mauchly para Saturação por Bases nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses, no módulo de experimentação florestal do Polo Gesseiro do Araripe.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr $> \chi^2$
Variáveis transformadas	5	0,3582	73,6203	< 0,0001
Componentes ortogonais	5	0,3930	66,9727	< 0,0001

Tabela 57: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para o teor de fósforo.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr $> F$
Profundidade	3	180,0910	60,0303	32,71	< 0,0001
Prof. X Ocup. Solo	6	93,9508	15,6584	8,53	< 0,0001
Resíduo	219	401,9208	1,8352		

Tabela 58: Análise de variância para o teor de fósforo na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	150,4561	75,2280		< 0,0001
Resíduo	73	395,3333	5,4155		
Total	75	545,7894			

Tabela 59: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para a acidez (pH).

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Profundidade	3	18,2416	6,0805	104,71	< 0,0001
Prof. X Ocup. Solo	6	1,6384	0,2730	4,70	0,0002
Resíduo	219	12,7173	0,0580		

Tabela 60: Análise de variância para acidez (pH) na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	3,4042	1,7021	11,27	< 0,0001
Resíduo	73	11,0225	0,1509		
Total	75	14,4267			

Tabela 61: Análise de variância para acidez (pH) na camada de 5-20 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	3,4208	1,7104	10,86	< 0,0001
Resíduo	73	11,4985	0,1575		
Total	75	14,9193			

Tabela 62: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para Capacidade de Troca de Cátions.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Profundidade	3	64,0829	21,3609	103,61	< 0,0001
Prof. X Ocup. Solo	6	3,8533	0,6422	3,12	0,0060
Resíduo	219	45,1506	0,2061		

Tabela 63: Análise de variância para Capacidade de Troca de Cátions na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	6,4569	3,2284	11,29	< 0,0001
Resíduo	73	20,8718	0,2859		
Total	75	27,3288			

Tabela 64: Análise de variância para o efeito profundidade de coleta e para interação profundidade de coleta x ocupação do solo, para Saturação por Bases.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Profundidade	3	13791,9625	4597,3208	88,76	< 0,0001
Prof. X Ocup. Solo	6	1386,5250	231,0875	4,46	0,0003
Resíduo	219	11343,6625	51,7975		

Tabela 65: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 0-5 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	1747,1666	873,5833	9,30	0,0003
Resíduo	73	6857,8333	93,9429		
Total	75	8605,0000			

Tabela 66: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 5,1-20 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	5902,7333	2951,3666	28,93	< 0,0001
Resíduo	73	7448,2666	102,0310		
Total	75	13351,0000			

Tabela 67: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 20,1-50 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	2871,3473	1390,6736	11,03	< 0,0001
Resíduo	73	9206,6000	126,1178		
Total	75	11987,9473			

Tabela 68: Análise de variância para Saturação por Bases na camada de 50,1-100 cm nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Ocupação do solo	2	837,2228	418,6114	7,29	0,0008
Resíduo	73	3860,8166	52,8879		
Total	75	4698,0394			

Tabela 69: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável teor de fósforo nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,5834	16,90	< 0,0001
Traço de Pilai	0,4165	16,90	< 0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	0,7139	16,90	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	0,7139	16,90	< 0,0001

Tabela 70: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável teor de fósforo nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,7343	3,95	0,0011
Traço de Pilai	0,2684	3,72	0,0018
Traço de Hotelling – Lawley	0,3578	4,21	0,0009
Maior Raiz de Roy	0,3469	8,33	< 0,0001

Tabela 71: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável acidez (pH) nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,2074	90,44	< 0,0001
Traço de Pilai	0,7925	90,44	< 0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	3,8212	90,44	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	3,8212	90,44	< 0,0001

Tabela 72: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável acidez (pH) nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,7502	3,66	0,0021
Traço de Pilai	0,2572	3,54	0,0027
Traço de Hotelling – Lawley	0,3228	3,79	0,0020
Maior Raiz de Roy	0,2879	6,91	0,0004

Tabela 73: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável Capacidade de Troca de Cátions nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,1963	96,88	< 0,0001
Traço de Pilai	0,8036	96,88	< 0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	4,0933	96,88	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	4,0933	96,88	< 0,0001

Tabela 74: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável Capacidade de Troca de Cátions nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,7893	2,97	0,0092
Traço de Pilai	0,2201	2,97	0,0092
Traço de Hotelling – Lawley	0,2548	3,00	0,0101
Maior Raiz de Roy	0,1923	4,62	0,0052

Tabela 75: Teste de hipótese do efeito profundidade de coleta para variável Saturação por Bases nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,2571	68,37	< 0,0001
Traço de Pilai	0,7428	68,37	< 0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	2,8886	68,37	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	2,8886	68,37	< 0,0001

Tabela 76: Teste de hipótese do efeito da interação profundidade de coleta x ocupação do solo para variável Saturação por Bases nas áreas com cultivo de eucaliptos aos 42 e 138 meses e com vegetação nativa aos 120 meses.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,6782	5,07	< 0,0001
Traço de Pilai	0,3270	4,69	0,0002
Traço de Hotelling – Lawley	0,4667	5,49	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	0,4495	10,79	< 0,0001

APÊNDICE III

Tabela 77: Custos e Receitas da produção de madeira de eucaliptos, no espaçamento 2x2.

Espaçamento 2x2 - 2500 plantas / hectare - C41							
Descrição	Ano	Unid.	Quant.	V. Unit. (R\$)	Custo (R\$)	Produção (m ³)	Receita (R\$)
Gradagem	1	h/m	3	80,00	240,00		
Sub-solagem	1	h/m	2	60,00	120,00		
Gosse agrícola	1	kg	2000	0,40	800,00		
Fertilizante	1	kg	450	0,70	315,00		
Herbicida	1	l	3	25,00	75,00		
Formicida	1	kg	10	5,00	50,00		
Hidrogel	1	kg	5	40,00	200,00		
Aplicação de adubo	1	h/d	3	30,00	90,00		
Calagem - Dist. Mecanizada	1	h/m	3	35,00	105,00		
Aplicação de hidrogel	1	h/d	6	30,00	180,00		
Mudas	1	1	2500	0,40	1000,00		
Frete das mudas	1	1	2500	0,25	625,00		
Plantio	1	h/d	3	30,00	90,00		
Replantio	1	h/d	0,7	30,00	21,00		
Controle de formigas	1	h/d	1	30,00	30,00		
Coroamento	2	h/d	3	30,00	90,00		
Roço entre linhas	2	h/m	0	30,00	0,00		
Combate de formigas	2	h/d	1	30,00	30,00		
Monitoramento	1...3,5		3	50,00	150,00		
Produção	3,5	IMA (m ³)	21,64	***	***	75,74	
Corte / Empilhamento	3,5	h/m ³	75,74	14,00	1060,36		
Transporte	3,5	m ³	75,74	10,00	757,40		
Valor da lenha	3,5	R\$/m ³	***	120,00	***		
Total	3,5	R\$			6028,76		9088,80
Receita líquida	3,5	R\$					3060,04