

FRANCISCO DAS CHAGAS VIEIRA SALES

**COMPARAÇÃO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E SELEÇÃO DE CLONES E
ESPÉCIES DE *Eucalyptus* EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS
NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO**

RECIFE

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**COMPARAÇÃO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E SELEÇÃO DE CLONES E
ESPÉCIES DE *Eucalyptus* EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS
NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais, Área de Concentração: Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva
Co-orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

RECIFE

2013

FRANCISCO DAS CHAGAS VIEIRA SALES

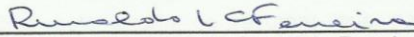
**COMPARAÇÃO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E SELEÇÃO DE CLONES
E ESPÉCIES DE *Eucalyptus* EM DIFERENTES DENSIDADES
POPULACIONAIS NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO**

Aprovada em 28 de fevereiro de 2013

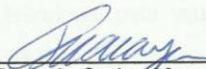
COMISSÃO EXAMINADORA:



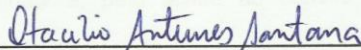
Prof. Dr. José Antônio Aleixo
(Orientador – Departamento de Ciência Florestal – UFRPE)



Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira
(Co-orientador – Departamento de Ciência Florestal – UFRPE)




Prof. Dr. Luiz Carlos Marangon
(Departamento de Ciência Florestal – UFRPE)



Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana
(Departamento de Biofísica e Radiobiologia– UFPE)



Prof. Dr. Olaf Andreas Bakke
(Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal – UFCG)



Prof. Dr. Méuser Jorge Silva Valença
(Departamento de Sistemas e Computação – UPE)

RECIFE
2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela a vida, e oportunidade de concluir mais esta etapa em minha vida;

Aos meus pais Antonio Belmiro Sales e Cileide Maria de Sales, pelo amor, incentivo e dedicação;

Ao orientador, José Antonio Aleixo da Silva e co-orientador Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, pela ajuda, apoio e orientações, em nome dos quais agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco em seu Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais pela acolhida e condição de realizar este trabalho;

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco pela disponibilidade da área e apoio na condução do experimento;

A Souza Cruz pelo aporte de recursos que possibilitou a instalação e monitoramento da pesquisa;

À Facepe pela concessão da bolsa de estudos;

Ao colega Fernando Henrique pela ajuda e troca de ideias, além do acompanhamento nas coletas de dados;

Ao Professor Luiz Medeiros de Araújo pelas recomendações e discussões acerca do uso de modelos simétricos;

A Banca Examinadora, pelo aceite ao convite e às contribuições para qualificar este trabalho;

Aos colegas de Curso, Rubeni, Romário, Kleybiana, Francisco Tarcisio, Francisco Campello, pela torcia e apoio, enfim a todos os amigos que contribuíram para fortalecer o propósito de alcançar este objetivo;

A todos meu muito obrigado!

RESUMO

A vegetação da Caatinga que é a principal fonte energética em forma de lenha para atender diversos empreendimentos vem sofrendo grande pressão e acentuada degradação dessa vegetação. Para atender essa demanda e atenuar a pressão sobre a vegetação nativa, propõe-se o cultivo de espécies de rápido crescimento, com o gênero *Eucalyptus*, fazendo a seleção de clones em diferentes densidades populacionais e recomendações de seu cultivo com o uso de estimativas confiáveis do volume, por meio de modelos matemáticos com distribuição normal e distribuição t-Student que é menos sensível a valores extremos. Portanto o objetivo do presente trabalho foi selecionar clones ou espécies e modelos volumétricos para o gênero *Eucalyptus*. O experimento foi desenvolvido na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em São Bento do Una, onde foram testados 15 tratamentos mensurados semestralmente a circunferência à altura do peito (CAP) e a altura do total da árvore (H), até os 48 meses de idade. Em dezembro de 2012, foram cubadas rigorosamente 763 árvores pelo método de Smalian, para ajustar os modelos volumétricos. Para seleção de clones ou espécies de *Eucalyptus*, adotou-se o delineamento estatístico multivariado de medidas repetidas. Os modelos matemáticos aplicados considerando a distribuição normal e a t-Student foram o de Silva e Bailey, Chpman-Richard, Schumacher e Hall e Brody. Foram identificadas diferenças significativas para os tratamentos, tempo e interação tratamento x tempo. Aos 48 meses as mais altas médias de produtividade foram as dos tratamentos cl 0321– *E. grandis* x *E. urophylla* (69,160m³/ha), cl 6500 – *Eucalyptus urophylla* (65,337m³/ha), cl 0520 – *E. grandis* x *E. urophylla* (64,321m³/ha) e cl 0477 – *E. grandis* x *E. urophylla* (60,345m³/ha). Os dados para ajuste dos modelos foram separados em três grupos. No grupo 1 as melhores equações foram Schumacher e Hall e Chapman-Richard ambas com suposição da distribuição normal. No grupo 2 a equação de Schumacher e Hall com distribuição normal e t-Student apresentou as melhores estimativas volumétricas e no grupo 3 as equações de Schumacher e Hall e Chapman-Richard com distribuição t-Student apresentaram-se mais adequadas aos dados. O clone que apresentou a maior produtividade foi o de *E. grandis* x *E. urophylla* com o espaçamento 2m x 2m e IMA de 17,29m³/ha. A equação de Schumacher e Hall proporcionou melhores ajustes aos dados analisados, sendo recomendada para a estimativas volumétricas. Os modelos com distribuição t-Student promoveram melhores ajustes, considerando as quatro melhores equações em cada grupo. Quanto a melhor equação de cada grupo, o modelo de Schumacher e Hall com distribuição normal apresentou os melhores ajustes.

Palavras chave: *Eucalyptus*, modelos simétricos, produção.

ABSTRACT

The vegetation of the Caatinga which is the main energy source in the form of firewood to various sectors is under great pressure and higher deterioration. To supply that demand and attenuate pressure on native vegetation, it is proposed the cultivation of fast growing forests with the genus *Eucalyptus*, making the selection of clones and species in different densities and recommendations of plantations with the use of reliable estimates volume by the use of mathematical models with normal d and t-Student distribution that is less sensitive to extreme values. Therefore the aim of this work was to select clones or species and volumetric models for clones and species of *Eucalyptus*. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in São Bento do Una, where 15 treatments were tested. Measurements of the circumference at breast height (CBH) and total tree height (H) were taken from the plantation up to 48 months. In December 2012, 763 trees were rigorously measured by Smalian method to adjust the volume models. For selection of clones or species of *Eucalyptus*, it was adopted the multivariate statistical design of repeated measures. The mathematical models considering the normal distribution and t-Student were: Silva and Bailey, Chapman and Richard, Schumacher and Hall and Brody. Significant differences were identified for treatment, time and treatment x time interaction. At 48 months, the highest average yield were the treatments cl 0321 - *E. grandis* x *E. urophylla* (69.160 m³ / ha), cl 6500 – *Eucalyptus urophylla* (65.337 m³ / ha), cl 0520 - *E. grandis* x *E. urophylla* (64.321 m³ / ha) and cl 0477 - *E. grandis* x *E. urophylla* (60.345 m³ / ha). Data for adjustment of the models were divided into three groups. In group 1 the best equations were Schumacher and Hall and Chapman and Richard both with the assumption of normal distribution. In group 2 the equation of Schumacher and Hall with normal distribution and t- Student test showed the best volumetric estimates. In group 3 the equations of Schumacher and Hall, Chapman and Richard with t-Student distribution were more appropriate to the data. The clone with the highest productivity was *E. grandis* x *E. urophylla* with spacing 2m x 2m presenting a mean annual increment (MAI) of 17.29 m³ / ha. The equation of Schumacher and Hall provided better fits to the data analyzed, and is recommended for volumetric estimates. Models with t-Student distribution promoted best fit considering the top four equations in each group. As the best equation for each group, the Schumacher and Hall model with normal distribution showed the best settings.

Keywords: *Eucalyptus*; symmetrical models; productivity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da parcela e área útil.....	24
Figura 2. Dendrograma da análise de agrupamentos dos 13 tratamentos.....	38
Figura 3- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificada, para estimativa de volume por planta.	41
Figura 4- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.	41
Figura 5- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.....	41
Figura 6- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada, para estimativa de volume por planta.	42
Figura 7- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificado, para estimativa de volume por planta.	43
Figura 8-Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificado, para estimativa de volume por planta.	43
Figura 9-Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.....	44
Figura 10 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificado para estimativa de volume por planta.	44
Figura 11 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Bailey modificada para estimativa de volume por planta.	48
Figura 12 – Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.	48
Figura 13 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall para estimativa de volume por planta.....	48
Figura 14 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada para estimativa de volume por planta.	49

Figura 15 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Bailey modificada para estimativa de volume por planta.	50
Figura 16 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.	51
Figura 17 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall para estimativa de volume por planta.....	51
Figura 18 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada para estimativa de volume por planta.	51
Figura 19 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificada para estimativa de volume por planta.....	55
Figura 20 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.	55
Figura 21 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.....	55
Figura 22 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada, para estimativa de volume por planta.	56
Figura 23 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificada para estimativa de volume por planta.....	57
Figura 24 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.	57
Figura 25 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.....	58
Figura 26 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada, para estimativa de volume por planta.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos composto por clones e espécies e, espaçamentos de cultivo em São Bento do Una-PE	25
Tabela 2. Modelos volumétricos.....	28
Tabela 3 - Teste de esfericidade de Mauchly para o volume.	33
Tabela 4 – Análise de variância para tratamentos	33
Tabela 5 – Análise de variância para interação tempo x tratamento.....	33
Tabela 6 - Teste de hipótese do efeito do tempo para a variável volume.	34
Tabela 7 - Teste de hipótese do efeito da interação tempo x tratamento.....	34
Tabela 8 - Produção média estimada por planta em m ³ /ha, para as seis épocas de mensuração.....	35
Tabela 9 - Produção, incremento médio anual (IMA) e sobrevivência dos clones mais produtivos na área experimental de São Bento do Una.	36
Tabela 10 – Coeficientes e estatísticas de seleção da melhor equação para estimativa do volume de árvore.....	39
Tabela 11 – Equações com seu respectivo valor ponderado (VP) das estatísticas de seleção de melhor ajuste.....	40
Tabela 12 - Estimativas dos coeficientes para os modelos volumétricos e estatísticas das equações com distribuição t-Student.....	42
Tabela 13 – Equações e seus respectivos valores ponderados.....	45
Tabela 14 - Ranking das equações com distribuição normal e t-Student.....	45
Tabela 15 - Estimativas dos parâmetros, índice de ajuste corrigido, critério de Akaike (AIC) e EPAM.	46
Tabela 16 – Equações com o valor ponderado (VP) das estatísticas de seleção de melhor ajuste.....	47

Tabela 17 - Coeficientes para os modelos volumétricos e estatísticas das equações com distribuição t-Student.	50
Tabela 18 – Ranking das três melhores equações com menor valor do erro percentual absoluto médio – EPAM.	52
Tabela 19. Ranking das equações com distribuição normal e t-Student.....	52
Tabela 20 - Coeficientes, índice de ajuste e erro padrão da estimativa para o volume por árvore.	53
Tabela 21 – Equações com o valor ponderado (VP) das estatísticas de seleção de melhor ajuste.....	54
Tabela 22 - Coeficientes e estatísticas de validação das equações com distribuição t-Student.....	56
Tabela 23 – Ranking das três melhores equações com menor valor do erro percentual absoluto médio – EPAM.	59
Tabela 24 – Ranking das equações com distribuição normal e t-Student.....	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Eucalyptus.....	14
2.2 Densidade populacional	18
2.3 Crescimento florestal.....	21
2.3.1 Análise de regressão para crescimento em volume	21
2.4 Modelos Simétricos Não Lineares.....	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 Delineamento experimental.....	26
3.2 Modelos matemáticos (volumétricos) empregados	28
3.3 Modelos simétricos.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Grupo 1	39
4.2 Grupo 2	46
4.3 Grupo 3	53
5 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

A vegetação da Caatinga há décadas vem sendo utilizada de forma intensa para atendimento da demanda de inúmeros produtos, tais como madeira para construções rurais, estacas, forragem, produtos não madeireiros. Dentre os diversos produtos, sem dúvida, a lenha se destaca por ser uma das principais fontes da matriz energética da região Nordeste.

No ambiente domiciliar, a lenha representa importante insumo na cocção alimentar. Já na indústria essa demanda também é grande e em constante modificação, seja para mais ou para menos, por ser reconhecidamente a fonte energética de menor custo. Essa demanda gera uma oferta de matéria prima de forma desordenada e predatória, chegando ao completo desmatamento em muitas áreas.

Muitos dos empreendimentos consumidores de lenha estão esparsos no ambiente de forma pulverizada, sendo difícil quantificar e planejar a oferta de matéria prima, no entanto, esse aglomerado de consumidores gera forte impacto sobre a vegetação nativa. Para tanto é necessário alternativamente rever as práticas de uso dessa vegetação e amenizar a pressão sobre as espécies nativas com a introdução de espécies de rápido crescimento para responder por parte ou toda essa demanda.

Para fortalecer a alternativa do cultivo de espécies de rápido crescimento, são necessárias pesquisas locais com caráter científico e tecnológico para subsidiar futuros investimentos no abastecimento de lenha em indústrias, residências e empreendimentos de pequenos produtores como, por exemplo, a secagem de fumo (tabaco). Assim, havendo a adoção dos plantios florestais com o gênero *Eucalyptus*, por exemplo, é possível planejar e ordenar o fornecimento, de forma que se pode ter uma previsão de vida útil da atividade com viabilidade e menor degradação da vegetação nativa, minimizando-se a utilização de combustíveis fósseis por meio da apropriação da energia renovável – biomassa florestal.

A opção pelo gênero *Eucalyptus*, deve-se ao fato da existência de cultivos no Nordeste, com as maiores áreas plantadas concentradas na Bahia (628440,0 ha) e o

Maranhão (137360,0 ha), bem como aos múltiplos usos das espécies e incremento médio anual (IMA) de 40,1 m³/ha em 2011. Também existem plantios no Piauí e em outros Estados mas ainda não quantificados (ABRAF, 2012; NAHUZ et al., 2012).

Para o fortalecimento do incentivo ao plantio do gênero *Eucalyptus*, além de selecionar clones, é preciso fazer o planejamento da produção florestal com o uso de dados confiáveis da estimativa do volume e dos multiprodutos, o que se dá, principalmente, com a aplicação de modelos de regressão que visam encontrar uma função matemática, que possibilite identificar e descrever a relação entre uma ou mais variáveis independentes e a variável dependente ou resposta e, testar hipóteses sobre as variáveis, dependentes e independentes.

Durante muitos anos, as estimativas volumétricas de árvores eram feitas basicamente usando modelos matemáticos lineares e não lineares, que constituíam a ferramenta disponível mais eficiente. Recentemente, novas alternativas surgiram visando melhorar as precisões de tais modelos, destacando-se os modelos simétricos. Esses modelos foram utilizados e validados nos trabalhos de ABRAF, 2012; Lima Filho et al., (2012).

Os modelos simétricos supõem várias distribuições para os erros de forma que não sejam tão sensíveis a valores extremos como a distribuição normal, sendo dentre as distribuições simétricas já aplicadas à estimativa de volume de *Eucalyptus*, a distribuição t-Student mostrou-se mais eficaz (LIMA FILHO et al., 2012).

Na região do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco não existe indicação de pesquisas realizadas com relação à avaliação do rendimento de espécies produtoras de lenha, mesmo sendo uma região carente de oferta de lenha. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi selecionar clones ou espécies e modelos volumétricos para o gênero *Eucalyptus*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Eucalyptus

O gênero *Eucalyptus* é originário do continente Australiano, pertence à família Myrtaceae. É um gênero de grande dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática, extrapolando as do local de origem, apresentando uma variação longitudinal de ocorrência que vai de 7° N até 43° S (LIMA, 1996). A expansão da cultura do gênero *Eucalyptus* em outros países é associada ao aumento da demanda por lenha e à adaptabilidade desse gênero em uma grande diversidade de condições climáticas, o que motivou sua introdução no Brasil.

Oficialmente, a introdução de *Eucalyptus* spp no Brasil data de 1868, tendo seus primeiros exemplares plantados no Rio Grande do Sul e no Rio de Janeiro. Porém há relatos da chegada de duas mudas desse gênero ao Jardim Botânico do Rio de Janeiro, vindas de Portugal em 1824 (ANDRADE, 1911; HASSE, 2006; QUEIROZ; BARRICHELO, 2007).

Inicialmente, os primeiros plantios de *Eucalyptus* spp em outros países foram utilizados como barreiras de quebra vento, para a produção de lenha e para a construção rural. No Brasil, adquiriu dimensão econômica a partir dos resultados de um experimento com espécies nativas e *Eucalyptus* spp em Jundiaí - SP visando fornecer lenha para fornalhas das marias-fumaças (locomotivas a vapor) e, posteriormente, como dormente, o que resultou na aquisição de áreas para formação de plantios ao longo das estradas de ferro pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro (ANDRADE, 1928), formando os primeiros plantios com fins econômicos do *Eucalyptus* sp no Brasil (ANDRADE, 1911). Existem relatos de cultivos do gênero *Eucalyptus* também nos Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Pernambuco e Rio de Janeiro em 1939 (ANDRADE, 1961; MORA; GARCIA, 2000).

O Instituto Florestal do Estado de São Paulo assumiu, em 1964, as atividades então desenvolvidas pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, representado por um programa de melhoramento genético com seleção de sementes de árvores

com as melhores características de crescimento. Programa esse que, devido à preocupação com o atendimento da demanda por sementes melhoradas, culminou na criação do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), viabilizado por meio de um convênio entre a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) e as empresas Champion Papel e Celulose Ltda., a Duratex S.A. Indústria e Comércio, Indústrias Madeirit S.A., Rigesa Papel, Celulose e Embalagens, Indústria de Papel Leon Feffer S.A (Suzano). (MORA; GARCIA, 2000; HASSE, 2006; CARVALHO, 2012).

Os plantios do gênero *Eucalyptus* se expandiram para outras regiões do país no final da década de 1960. Em 1966, o Brasil possuía entre 600 mil e 700 mil hectares plantados em áreas concentradas nas regiões Sul e Sudeste (FERREIRA, 1992) e em 2011, o Brasil possuía 4.873.952,0 ha (ABRAF, 2012).

Como em qualquer plantio homogêneo existe maior probabilidade de ocorrência de doenças e pragas. Nos primeiros plantios extensos de eucaliptos apareceu o fungo *Cryphonectria cubensis* Burner (Hodges) causador do cancro uma doença que reduzia significativamente a produtividade dos plantios.

Para solucionar tal problema, a estaquia foi a primeira técnica de propagação vegetativa inserida na década de 1970, com o objetivo de propagar o híbrido de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* que apresentam resistência ao fungo, impulsionando os estudos de propagação vegetativa. A Aracruz Celulose S.A. disseminou essa técnica na década de 1980, o que fortaleceu a pesquisa e o desenvolvimento da propagação clonal, visando florestas cada vez mais produtivas (CARVALHO, 2012). Novas técnicas de propagação vegetativa, a miniestaquia e a microestaquia, foram desenvolvidas na década de 1990, com o objetivo de aumentar os índices de enraizamento e permitir a formação de plantios uniformes e manutenção das características da planta mãe (ALFENAS et al., 2004).

Uma das principais finalidades de clonar espécies é replicar as características desejáveis do indivíduo, principalmente a alta produtividade, tolerância às intempéries climáticas e resistência a pragas e doenças (DUTRA; WENDLING; BRONDANI, 2009).

A maior parte das áreas de plantios se formou com os incentivos fiscais das décadas de 1970 e 1980, o que resultou em extensos plantios em larga escala

(JUVENAL; MATTOS, 2002). Com tais incentivos foram realizados experimentos em quase todos os Estados brasileiros para nortear a escolha de espécies adaptadas aos diferentes locais. Foi realizado também, o Zoneamento Ecológico da Região Nordeste, que se baseou na relação entre as espécies e o balanço hídrico das regiões de destino e de origem das espécies. A partir dessas informações a região foi subdividida pelas condições climáticas, tendo como resultado as regiões climáticas Úmida, Subúmida úmida, Subúmida seca, Semiárida e Árida (GOLFARI; CASER, 1977).

Dentre os fatores climáticos, a pluviosidade é fundamental para implantação de florestas. Baseando-se nas condições climáticas, Golfari e Caser (1977) fizeram recomendações de espécies nativas para cada sub-região, destacando-se entre elas o pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart), a aroeira (*Miracrodoum urundeuva* Fr. All.) e a canafístula (*Cassia excelsa* Schrad.) para a região semiárida. As espécies do gênero *Eucalyptus*, mais recomendados para as sub-regiões semiárida e árida foram: *Eucalyptus alba*, *E. brassiana*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. dichromophloia*, *E. polycarpa*, *E. saligna*, *E. tereticornis*. Essas espécies foram indicadas para testes do potencial de produção de lenha, moirões, postes e o fabrico de carvão.

Golfari e Caser (1977) relataram que já existiam plantios experimentais do gênero *Eucalyptus* visando à produção de lenha na Bahia, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão e em Pernambuco nos municípios de Catende, Paulista, Moreno, Carpina, Limoeiro e Garanhuns.

Os incentivos que duraram até 1987, possibilitaram o aumento expressivo dos plantios e uso de produtos florestais avanços em pesquisa e produção florestal, e na diversificação de produtos de madeira (LIMA, 1996; HASSE, 2006).

Com investimento em pesquisas e melhoramento genético a produtividade média anual de plantios do gênero *Eucalyptus* passou de 36,7 m³/ha para 40,5 m³/ha de 2005 a 2007 (NAHUZ et al., 2012).

Em Pernambuco, na região do Polo Gesseiro do Araripe, pesquisas de adaptação do gênero *Eucalyptus* estão sendo conduzidas desde 2002, visando atender a demanda de energéticos florestais (lenha) do Araripe, o que é de suma importância para a manutenção do arranjo produtivo local do gesso. Em 2008, o

Polo Gesseiro do Araripe produziu 5,5 milhões de toneladas de gesso, destinados à fabricação de blocos e placas e moldes cerâmicos (SINDUSGESSO, 2013).

Os resultados preliminares desse experimento indicaram que os clones C41 (*Eucalyptus urophylla* – Cruzamento natural), C11 (*Eucalyptus brassiana* – Cruzamento natural) e C39 (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* – polinização controlada) foram os mais recomendados para produção de lenha nessa região (SILVA, 2008).

Portanto, o plantio do gênero *Eucalyptus* constitui uma alternativa para o suprimento energético primário do Polo Gesseiro do Araripe, por ser um gênero de rápido crescimento e alto incremento no estoque de lenha (Incremento Médio Anual de 29,68 m³/ha) quando comparado ao estimado para a Caatinga, na região do Araripe (4,0 m³/ha) (SILVA, 2009; ROCHA, 2012).

Na região do Agreste Meridional de Pernambuco, além da demanda de lenha para cocção de alimentos, padarias e outros setores que usam a lenha da vegetação nativa como principal fonte energética, destaca-se o seu uso para secagem de fumo. Atualmente, a demanda energética para essa utilidade é menor do que no Polo Gesseiro do Araripe, porém tende a aumentar com a implantação de indústrias de consumidoras de lenha na região, incluindo-se entre elas a indústria do fumo.

A atividade fumageira impulsionou a implantação de pesquisas para caracterizar o cultivo do gênero *Eucalyptus* para atender pequenos produtores fornecedores de fumo, pois na fase de secagem das folhas, a lenha continua sendo a principal fonte energética, em função de seu baixo custo quando comparada a outras fontes energéticas.

O emprego de técnicas de manejo florestal com uso de clones para formação de plantios de *Eucalyptus* proporcionará maior produtividade e uniformidade dos povoamentos, resultando no fornecimento de matéria prima para a indústria, (BERGER et al., 2002).

O uso desses clones na região do Agreste Meridional de Pernambuco pode se tornar em uma alternativa de oferta de lenha na região, pois não se tem conhecimento de plantios ou planos de manejo florestal sustentáveis da vegetação nativa nessa região. Considerando todo o Estado, há uma oferta sob regime de manejo florestal de 96.625,23 m³/ano, dos quais apenas 2.837,54 m³/ano

provenientes da região do Agreste para atender uma demanda estimada em 57.749,54 m³/ano, principalmente, das lavanderias de jeans em Caruaru e Toritama (BARBOSA, 2011). Essa oferta é bastante limitada, estima-se que aproximadamente 5% da demanda é atendida por planos de manejo florestal, mas esse energético se mantém no cenário principalmente pelo acesso ao recurso a baixos custos, embora se tornem cada vez mais escassos e distantes de serem obtidos.

2.2 Densidade populacional

Dentre as formas de manejo florestal, a quantidade de árvores por unidade de área (número de indivíduos/ha) é um fator imprescindível para o adequado fornecimento e rendimento do povoamento florestal, sendo preciso fornecer espaço suficiente para o crescimento vegetal de forma a promover o maior rendimento com qualidade e menores custos. A densidade de plantio (indivíduo/ha) é considerada uma das técnicas de manejo mais importantes para a qualidade e aumento da produtividade florestal tendo em vista a complexidade para o aproveitamento da luz e umidade do solo (SILVA; BELLOTE; FERREIRA, 2003).

A densidade populacional influencia também no destino de uso da matéria prima, deixando de ser empregada apenas para fins energéticos, podendo ser também aproveitada de forma mais nobre economicamente para produção de celulose, serraria de acordo com razões técnicas do manejo (COELHO; MELLO; SIMÕES, 1970). O espaçamento interfere no crescimento, produção, idade de corte e também nas práticas silviculturais, esse conjunto de ações técnicas auxiliam na definição do uso final da madeira, respeitando o rendimento do povoamento (ASSMANN, 1970; MARCOLINO, 2010).

Vale salientar que não só o produto final da madeira é determinante para o planejamento da densidade de plantio, mas associar os aspectos silviculturais, tecnológicos, ecológicos e econômicos para se ter os melhores rendimentos e praticidade no manejo do plantio florestal. Esses aspectos representados pelo clima, solo, relevo, condizem com a maior ou menor densidade de plantio e manejo (SIMÕES, 1989).

O espaçamento afeta a altura, o diâmetro, a sobrevivência e conicidade do fuste, variáveis que influenciam o volume total de madeira e o volume diretamente utilizável da floresta, influenciando mais intensamente o diâmetro do que a altura, sendo essa condição de competição, a única variável que pode ser controlada no manejo de forma eficiente (COELHO; MELLO; SIMÕES, 1970; SILVA; BELLOTE; FERREIRA, 2003).

O efeito do espaçamento no crescimento em diâmetro é mais acentuado e definido, pois geralmente, maiores espaçamentos proporcionam maiores diâmetros, consequência lógica de maior disponibilidade de área por árvore. Apesar de espaçamentos mais adensados resultarem em árvores com menores diâmetros, pois a competição entre as árvores pelos recursos ambientais é maior, produzem maiores áreas basais e volume por hectare em virtude do maior número de árvores por unidade de área (LADEIRA et al., 1997).

Os plantios em espaçamentos menores, normalmente, exigem desbastes ou ciclos mais curtos de cortes, pois a competição entre plantas ocorre mais precocemente, antecipando a estagnação do crescimento. Influenciam também na qualidade da madeira, considerando que em espaçamentos menores há uma maior competição por luz, promovendo a desrama natural pela morte precoce dos ramos inferiores (BALLONI; SIMÕES, 1980).

Essa competição em plantios adensados pode acarretar alta mortalidade natural das árvores. Quando da implantação de povoamento com alta densidade, tem-se um aumento considerável na área basal do povoamento até que a competição limite o acesso aos recursos (água, luz, nutrientes), sendo necessário imprimir diferentes densidades dependendo do destino final da madeira produzida ou da espécie, já que para diferentes espécies podem ser adequados diferentes densidades de cultivo (SIMÕES, 1989; LEITE et al., 1997; SILVA; BELLOTE; FERREIRA, 2003; SCHNEIDER et al., 2008).

Para a obtenção de madeira de maiores dimensões, ou em dimensões específicas em rotações curtas, pode-se utilizar de menores densidades de plantio, com melhor aproveitamento das condições de solo, água e a estabilidade do microclima no povoamento, com conseqüente valor agregado pela especificidade de uso da matéria prima (MELLO et al., 1972; LEITE et al., 1999).

Em plantios de *Eucalyptus* sp o espaçamento 3m x 2m é recomendado, principalmente, para a produção de celulose, o 3m x 1,5m quando se destina ao uso como lenha e espaçamentos de 3m x 3m ou maiores quando o material genético, como clones, objetivando altas taxas de crescimento e usos com diâmetros superiores como serraria. Os espaçamentos recomendados para plantios com fins energéticos são os que proporcionam áreas por árvores entre 3 a 9 m², manejados com rotações entre 4 a 7 anos (HIGA; MORA; HIGA, 2000; COUTO et al., 2002).

Alguns estudos relatam a influencia do espaçamento na qualidade de produção de variados produtos florestais, como o de Oliveira Neto et al. (2003), que avaliaram a produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., e observaram que os maiores valores de biomassa da parte aérea por árvore, aos 32 meses de idade, ocorreram nos espaçamentos mais amplos (3m x 4m e 3m x 5m), quando comparados com os espaçamentos mais reduzidos (3m x 2m e 3m x 3m), possivelmente, em razão da reduzida competição entre plantas.

Outro trabalho demonstrou que espaçamentos mais adensados (1m x 1m) de *Eucalyptus citriodora* possibilitou quase triplicar a produção de biomassa foliar e óleo essencial em relação ao espaçamento 3m x 1m (SILVA et al., 2009).

Berger et al., (2002), estudando o crescimento em diâmetro, altura e volume de um clone de *Eucalyptus saligna* sob diferentes condições de espaçamento e fertilização, constataram que os espaçamentos mais amplos (12 m²) proporcionaram os maiores diâmetros e os maiores valores médios de volume por árvore, porém, quando extrapolado a produção por hectare esse propiciou os menores valores, mesmo assim não diferiu estatisticamente dos demais espaçamentos testados (6 e 9 m²).

Em experimento com diferentes espaçamentos (1,5m x 1,5m, 2m x 2m, 3m x 2m e 3m x 3m) no cultivo de *Eucalyptus dunnii* na região sudoeste do Paraná, constatou-se que só a partir do terceiro ano de avaliações foi observado efeito positivo no que se refere ao diâmetro e volume por planta nos maiores espaçamentos. Os menores espaçamentos demonstraram os maiores volumes por hectare devido ao maior número de plantas por área e não influenciaram o desempenho em altura (REINER; SILVEIRA; SZABO, 2011).

Rezende et al., (1981) também não identificaram variações quanto a altura das árvores de *E. saligna*, observando essa variação para *E. grandis*, quanto ao crescimento volumétrico os maiores crescimentos foram obtidos nos menores espaçamentos.

2.3 Crescimento florestal

O conhecimento do crescimento florestal é fundamental na administração e no planejamento das atividades florestais, permitindo qualificar e vislumbrar os múltiplos usos da madeira (JORGE; VEIGA; PONTINHA, 1990; COSTA; SILVA; CARVALHO, 2008).

O crescimento pode ser definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume, peso, biomassa, etc., conseqüentemente, entende-se por crescimento de uma árvore o aumento gradual do valor das variáveis que dela se mede, por exemplo, o diâmetro a altura do peito (DAP), ou seja, a 1,3m em relação ao solo (IMAÑA-ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005; MENDES et al., 2006).

O diâmetro à altura do peito é uma das variáveis mais importantes na descrição da estrutura do povoamento e juntamente com a altura é amplamente utilizado na estimativa do volume e na seleção de árvores amostras (CORRAL-RIVAS et al., 2007). Utilizadas para ajustar os modelos de regressão que visam encontrar uma função matemática para descrever a relação entre uma ou mais variáveis independentes e a variável resposta.

2.3.1 Análise de regressão para crescimento em volume

Avaliar o crescimento e a produção é parte fundamental do processo de planejamento dos povoamentos florestais. O uso de equações volumétricas constitui-se no procedimento mais eficiente para estimar a produção em volume de um povoamento florestal. Algumas árvores selecionadas por um processo amostral são abatidas e seus volumes individuais são determinados, bem como variáveis de fácil obtenção como o DAP eH que serão usadas como variáveis independentes nos

modelos de regressão, que após ajustados resultam em equações volumétricas. Associando-se a equação volumétrica aos dados de campo obtidos do inventário florestal, torna-se possível estimar o volume de todo o povoamento sob investigação (LEITE; ANDRADE, 2002; MELLO et al., 2005; SILVA et al., 2009).

Os modelos de regressão que podem ser classificados em lineares e não lineares têm contribuído muito para solucionar diversos problemas florestais, facilita a obtenção de estimativas de parâmetros da floresta, por meio de relações biométricas estimando valores de forma indireta, objetivando principalmente, a redução do tempo e dos custos na coleta de dados e, fornecer estimativas com boa precisão (SPATHELF; NUTTO, 2000; MAZUCHELI; ACHCAR, 2002; SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009).

Dentre os vários modelos existentes para expressar o volume de madeira em função DAP e da aH, o modelo de Schumacher e Hall (1933) tem sido normalmente apontado como o mais eficiente (GUIMARÃES; LEITE, 1996; BATISTA; MAQUESINI; VIANA, 2004; THOMAS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2009; AZEVEDO, G. et al., 2011; FERREIRA et al., 2011).

Para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe, Azevedo, T. et al., (2011) concluíram que das seis equações testadas, a que apresentou melhor ajuste, tanto para o volume com casca como para o sem casca, foi a equação de Schumacher e Hall.

2.4 Modelos Simétricos Não Lineares

Atualmente, com a facilidade de acesso a computadores e softwares especializados, é possível cada vez mais utilizar de recursos mais avançados para o ajuste dos modelos de crescimento.

Para uso de modelos de regressão em fenômenos biológicos, geralmente, aplicam-se modelos não lineares, pois são deduzidos por suposições teóricas e os parâmetros resultantes são interpretáveis. Os modelos não lineares são aplicados frequentemente para estimar o volume de árvores em função do DAP e H, geralmente baseadas na normalidade da variável resposta. No entanto, as

estimativas de modelos normais são sensíveis a observações extremas, sendo necessário alternativas à suposição dos erros normais (SANTOS et al 2010; LIMA FILHO, 2012; LIMA FILHO et al., 2012).

O mais comum uso é na suposição da normalidade para os erros, no entanto, nem sempre há um bom ajuste aos dados, sendo sensíveis a observações discrepantes, sendo necessário encontrar alternativas à distribuição normal. A família simétrica de densidades de locação-dispersão guarda a estrutura da distribuição normal, mas elimina a forma específica da densidade normal para incluir densidades simétricas com caudas mais leves ou mais pesadas do que as caudas da distribuição normal, buscando menos sensibilidade a dados extremos (CYSNEIROS; PAULA; GALEA, 2005).

A família de distribuições simétricas gera uma classe ampla de distribuições com a mesma simetria que a distribuição normal padrão. Pertencem a essa classe as seguintes distribuições: t de Student, Cauchy, t de Student Generalizada, Kotz, Kotz Generalizada, Exponencial Potência, Logística tipo I, Logística tipo II, entre outras (CYSNEIROS; PAULA; GALEA, 2005).

Segundo Lima Filho (2012), os modelos simétricos assumem que as variáveis aleatórias Y_1, Y_2, \dots, Y_n podem ser tratadas como distribuídas independentemente seguindo a componente aleatória $f(y; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} g(u)$, $y \in \mathfrak{R}$, e a componente sistemática $g(u) = \eta(\beta) = h(x, \beta)$, definindo-se assim modelo simétrico não linear, constituindo-se em uma nova linha de uso para estimativas mais precisas de crescimento em ciências florestais.

Santos et al., (2010) avaliaram a modelagem do volume de clones de *Eucalyptus* com modelos simétricos supondo as distribuições normal, t-Student, Exponencial potência, Cauchy e Logística, e identificaram que todas as distribuições se ajustaram bem aos dados, no entanto a t-Student se ajustou aos dados de forma mais eficiente utilizando o modelo de Schumacher e Hall.

A seleção de clones para a região do Agreste pode vir a se tornar uma alternativa à demanda de lenha, tendo o planejamento de uso apoiado nas recomendações e na validação dos modelos volumétricos que estão sendo utilizados neste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Campo Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em São Bento do Una, com coordenadas geográficas de posição 08° 31' 22" S e 36° 06' 40" W e altitude de 614 metros. O município apresenta clima semiárido (quente) e vegetação sub caducifólia e caducifólia com temperatura média anual de 22,2 °C e precipitação pluviométrica média anual de 630 mm (CPRM, 2005).

O experimento foi implantado mês de abril de 2008. As parcelas possuíam áreas de 294 m² e 196 m² (Figura 1). As mudas de eucaliptos foram plantadas em covas com dimensões de 30cm x 20cm x 20cm nos espaçamentos de 3m x 2m e 2m x 2m, resultando em 15 tratamentos (Tabela 01) com 4 e 3 repetições, no caso do tratamento 15 foram implantadas apenas 3 repetições por não haver número suficiente de mudas. O número de mudas na área total e útil da parcela foi 49 e 25, respectivamente. As mudas dos clones de eucaliptos foram adquiridas na Copener Florestal LTDA, localizada em Inhambupe – BA.

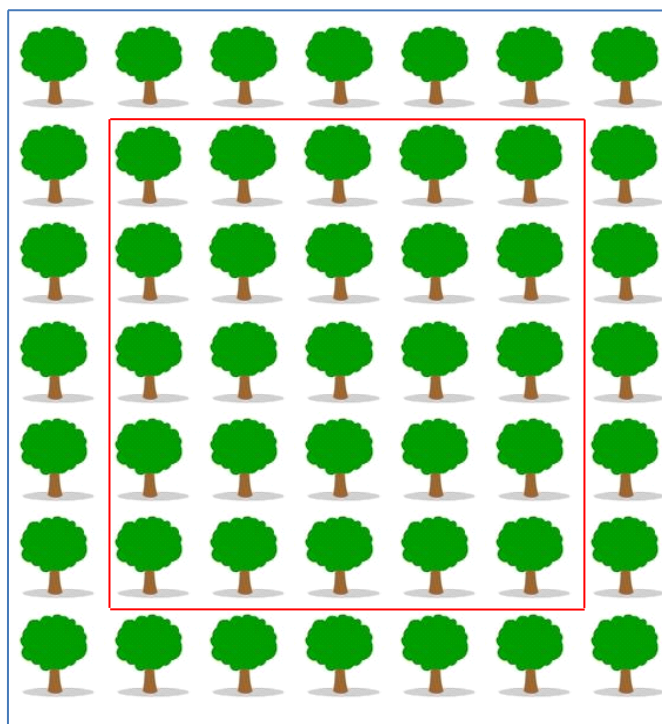


Figura 1. Representação da parcela composta por 49 plantas e da área útil composta por 25 plantas.

Tabela 1 – Tratamentos composto por clones e espécies e, espaçamentos de cultivo em São Bento do Una-PE

Tratamento	Clone/Espécie	Procedência	Espaçamento
T1	cl 6500 – <i>Eucalyptus urophylla</i>		3m x 2m;
T2	cl 0520 – <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Entre Rios-BA	3m x 2m
T3	cl 0321 – <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Entre Rios-BA	3m x 2m
T4	cl 2361 – Híbrido de Rio Claro	Eunápolis-BA	3m x 2m
T5	cl 1407 – <i>E. urophylla</i> x <i>E. sp</i>	Inhambupe-BA	3m x 2m
T6	cl 0477 – <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Entre Rios-BA	3m x 2m
T7	cl 0520 – <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Entre Rios-BA	2m x 2m
T8	cl 0321 – <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Entre Rios-BA	2m x 2m
T9	cl 2361 – Híbrido de Rio Claro	Eunápolis-BA	2m x 2m
T10	cl 1407 – <i>E. urophylla</i> x <i>E. sp</i>	Inhambupe-BA	2m x 2m
T11	cl 0477 – <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Entre Rios-BA	2m x 2m
T12	<i>E. urophylla</i>		3m x 2m
T13	<i>E. citriodora</i>		3m x 2m
T14	<i>E. urophylla</i>		2m x 2m
T15	<i>E. citriodora</i>		2m x 2m

As mensurações seguiram uma periodicidade semestral, sendo coletados dados de H e circunferência a altura do peito (CAP) quando as árvores atingiram valores iguais ou superiores a 10 cm, os tratamentos 5 (cl 1407) e 10 (cl 1407) não foram mensurados devido a alta mortalidade desses clones, que ultrapassou 80% de mortalidade no primeiro ano após o plantio. As medições foram realizadas aos 18, 24, 30, 36, 42 e 48 meses.

Em dezembro de 2012, foram cubadas rigorosamente 763 árvores pelo método de Smalian com a finalidade de se ajustar modelos volumétricos:

$$v_i = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot L = \left[\frac{\left(\frac{\pi D_1^2}{40.000} \right) + \left(\frac{\pi D_2^2}{40.000} \right)}{2} \right] \cdot L = v_i = \frac{\pi}{80.000} (D_1^2 + D_2^2) \cdot L$$

$$V = v_{i1} + v_{i2} + \dots + v_{in}$$

Em que:

V = volume da árvore, em m^3 ;

v_i = volume da seção, em m^3 ;

g_i = área seccional em m^2 ;

D_1 e D_2 = diâmetros nas extremidades 1 e 2 da seção, em cm;

L = comprimento da seção em m.

3.1 Delineamento experimental

Como foram consideradas mensurações ao longo do tempo, adotou-se o delineamento estatístico multivariado de de medidas repetidas.

O modelo estatístico empregado foi (NETER; WASSORMAN; KUTNER, 1990; NEMEC, 1996):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \gamma_j + (\beta\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} = Variável resposta (crescimento em volume). É o valor observado para a variável resposta do i -ésimo clone, no j -ésimo tempo e na l -ésima repetição;

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

β_i = Efeito do i -ésimo clone;

γ_j = Efeito do j -ésimo tempo;

$(\beta\gamma)_{ij}$ = Efeito da interação entre o i -ésimo clone e o i -ésimo tempo;

ε_{ijl} = Erro aleatório correspondente à observação do i -ésimo clone do j -ésimo tempo e da 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 horizontais);

H_{03} : Não existe interação tempo x tratamentos (perfis paralelos).

Para testar as hipóteses, foram usados: o teste de esfericidade de Mauchly para avaliar a adequação do uso de medidas repetidas, e neste caso a esfericidade tem que ser violada para que seja considerado adequado o uso de medidas repetidas (MAUCHLY, 1940); e os testes multivariados: Traço de Pillai, Lambda de Wilks, Traço de Lawley-Hotelling para teste de médias.

As significâncias dos testes foram calculadas pelos respectivos valores do teste de F, seguidas da comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O software usado para os testes de médias foi o SAS (Statistical Analysis System).

Visando a separação dos clones em grupos para ajuste dos modelos volumétricos, os dados foram submetidos à análise de componentes principais pela matriz de covariância, de forma a captar o máximo da variância dos dados, em que o primeiro componente explica a maior parte da variação, e os demais explicam de forma decrescente a variação, formando um novo conjunto de dados independentes entre si. A partir dos escores dos componentes principais que explicassem pelo menos 90% da variação total, fez-se a análise de agrupamentos, visando subdividir os dados originais em subgrupos ou novos grupos segundo o critério de similaridade da distância Euclidiana quadrática e pelo método de Ward. As análises foram feitas com o uso do SAS (Statistical Analysis System) e do Statistica 6.0.

3.2 Modelos matemáticos (volumétricos) empregados

Para desenvolver estimativas foram utilizados quatro (4) modelos volumétricos (Tabela 2), foram cubadas rigorosamente 763 árvores pelo método de Smalian.

Tabela 2. Modelos volumétricos

1	$V_i = \beta_0 e^{\beta_1(\beta_2^{x_{i1}} + \beta_3^{x_{i2}})} + \varepsilon_i$	Silva e Bailey modificado
2	$V_i = \beta_0 \{1 - e^{[(-\beta_1 x_{i1}) + (-\beta_2 x_{i2})]}\}^{\beta_3} + \varepsilon_i$	Chapman e Richard modificado
3	$V_i = \beta_0 x_{i1}^{\beta_1} x_{i2}^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Schumacher e Hall (SCHUMACHER; HALL, 1933)
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 m^3 ;

x_{i2} = altura total da árvore i em m ;

x_{i1} = CAP (1,30 m) da árvore i em m ;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 = parâmetros dos modelos;

ε_i = erro aleatório.

3.3 Modelos simétricos

Dentre as distribuições simétricas há a hipótese de que os erros aleatórios apresentam distribuição normal, no entanto, esta suposição nem sempre se verifica em se tratando de fenômenos biológicos, os quais apresentam muitas vezes erros com distribuição diversa da normal. Nesses casos, deve-se considerar distribuições mais adequadas, e para tanto, foram consideradas as distribuições normal e t Student.

Distribuição Normal

A variável aleatória $Y \sim S(\mu, \sigma)$ tem distribuição normal se sua função geradora de densidade $g(\cdot)$ é da forma,

$$g(u) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma}} e^{(-u/2)}, u > 0,$$

Então, Y tem distribuição normal denotada por $Y \sim N(\mu, \sigma)$. O coeficiente de curtose desta distribuição é $\gamma_2 = 3$.

Distribuição t de Student

Diz-se que $Y \sim S(\mu, \sigma)$ tem distribuição t de Student se sua função geradora de densidade $g(\cdot)$ é da forma,

$$g(u) = \frac{v^{v/2}}{B(1/2, v/2)} (v + u)^{-\frac{v+1}{2}}, \quad v > 0, \quad u > 0,$$

Em que $B(\cdot, \cdot)$ é a função Beta. Assim, Y é denotada por $Y \sim t(\mu, \sigma, v)$. O coeficiente de curtose é $\gamma_2 = 3 + \frac{6}{v-4}$, para $v > 4$. Este coeficiente é maior que o coeficiente da distribuição normal.

Esta distribuição foi considerada mais adequada à estimativa de volume de árvores de *Eucalyptus* no Pólo Gesseiro do Araripe (LIMA FILHO, 2009; LIMA FILHO, 2012).

Os modelos foram ajustados supondo as distribuições simétricas para os erros: normal e t-Student. Para estimar os volumes das árvores foram utilizados os quatro modelos descritos anteriormente: Schumacher e Hall, Chapman e Richards, Silva e Bailey e, Brody na sua forma original e modificada.

O ajuste desses modelos ocorre de forma similar aos modelos volumétricos. Usou-se o procedimento (Proc) NLP (NonLinear Programming) no SAS. Segundo Lima Filho (2012), esse procedimento oferece técnicas de otimização da função

contínua não linear e, para gerar as estimativas dos parâmetros para os modelos simétricos não lineares, pelo Proc NLP é necessário determinar a função de máxima verossimilhança da distribuição simétrica adotada.

Segundo metodologia adotada por Santos (2010); Lima Filho (2012) os modelos foram ajustados supondo as distribuições simétricas para os erros (normal, t de Student). Os parâmetros foram estimados utilizando os softwares SAS.

Os critérios usados nas comparações das equações foram o Índice de Ajuste corrigido (IA_c) em que o maior valor é o selecionado (SCHLAEGEL, 1981), o erro percentual absoluto médio (EPAM) em que o menor valor é selecionado, conforme aplicado por Lima Filho et al., (2012), critério de informação de Akaike (AIC) em que o menor valor é selecionado, conforme Schneider, Schneider; Souza (2009), e a distribuição gráfica dos resíduos em % (E_i):

- Índice de Ajuste corrigido

$$IA_c\% = 1 - \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \times 100 \right) \right] \times \left(\frac{n-1}{n-p} \right)$$

Em que:

IA_c% = índice de ajuste corrigido;

p = número de parâmetros da equação;

n = Tamanho da amostra;

y_i = Valor observado (real);

ŷ_i = Valor estimado pela equação de regressão;

ȳ = Médias dos valores observados;

- Erro Percentual Absoluto Médio

O erro percentual absoluto médio (EPAM), foi utilizado para comparar os modelos, sendo que o menor valor indica que a equação ajusta-se melhor aos dados. O EPAM é expresso por:

$$EPAM = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}$$

Em que:

n = Tamanho da amostra;

y_i = Valor observado (real);

\hat{y}_i = Valor estimado pela equação de regressão;

A ponderação entre o número de componentes usados para o modelo matemático estimado, e obter um compromisso satisfatório entre o bom ajuste e o princípio de parcimônia pode ser alcançada aplicando-se o Critério de informação de Akaike (AIC), procedimento utilizado para identificação de modelo estatístico, descrito em Schneider; Schneider; Souza (2009).

$$AIC = n \cdot \ln\left(\frac{SQE}{n}\right) + 2 \cdot p$$

Em que:

n = número de observações;

\ln = logaritmo natural;

SQE = soma de quadrados do erro;

p = número de parâmetros do modelo.

Para o cálculo da análise da distribuição gráfica residual, usou-se a seguinte expressão:

$$E\% = \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right) \times 100$$

Em que:

$E\%$ = resíduo percentual da i -ésima observação;

y_i = valor observado;

\hat{y}_i = valor estimado.

Para seleção da melhor equação baseados nas estatísticas descritas (IAC, EPAM, AIC) fez-se a ponderação ordenada a partir do melhor resultado de cada estatística, sendo o melhor resultado com peso um, peso dois para o segundo melhor resultado e assim sucessivamente. O valor ponderado (VP) é obtido multiplicando-se o número de vezes que foi quantificado pelo seu respectivo peso. O menor valor encontrado de acordo com a fórmula abaixo, expressa a melhor equação, conforme Schneider; Schneider; Souza (2009). A estimativa do valor ponderado segue:

$$VP = \sum_{i=1}^n Nr_i \times P_i$$

Em que:

P_i = peso da i-ésima colocação;

Nr_i = número de vezes que obtiveram a i-ésima colocação;

VP = valor ponderado da equação.

Para a seleção da melhor equação considerando a distribuição normal e a distribuição t-Student, foi realizada pelo mesmo procedimento, de forma que foram agrupadas as oito equações e ranqueada de acordo com os menores valores ponderados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a aplicação do teste de esfericidade observou-se dependência entre as medidas ao longo do tempo (Tabela 3), logo, foi violada a condição de esfericidade e justifica-se como adequado o uso do teste multivariado de medidas repetidas.

Tabela 3 - Teste de esfericidade de Mauchly para o volume.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr > χ^2
Variáveis transformadas	14	0,0000105	367,91991	<0,0001
Componentes ortogonais	14	0,0001628	280,01554	<0,0001

Por meio de análise de variância foram constatadas diferenças significativas para os tratamentos (Tabela 4) e para a interação tempo versus tratamento (Tabela 5), rejeitando-se a hipótese de nulidade para os tratamentos bem como para a interação tempo x tratamento, isto é, existem mudanças significativas entre os comportamentos dos tratamentos ao longo do tempo, mas mantendo uma interdependência entre as medidas de mesmo tratamento em tempos diferentes.

Tabela 4 – Análise de variância para tratamentos

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamentos	12	20175,17460	1681,26455	4,06**	<0,0006
Erro	34	14077,29255	414,03812		
Total	46	34252,46715			

Tabela 5 – Análise de variância para interação tempo x tratamento.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tempo	5	69637,86726	13873,57345	471,29	<0,0001
Tempo x Tratamento	60	7567,87984	126,13133	4,28	<0,0001
Erro	170	5004,31780	29,43716		

Por meio de análise multivariada de medidas repetidas foram observadas também diferenças significativas para o efeito do tempo (Tabela 6) e para o efeito da

interação tempo x tratamento (Tabela 7), reforçando o fato de que as medições ao longo do tempo estão inter-relacionadas.

Tabela 6 - Teste de hipótese do efeito do tempo para a variável volume.

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,04575374	125,14	<0,0001
Traço de Pillai	0,95424626	125,14	<0,0001
Traço de Hotelling-Lawley	20,85613839	125,14	<0,0001

Tabela 7 - Teste de hipótese do efeito da interação tempo x tratamento

Estatísticas	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,05997815	1,98	0,0005
Traço de Pillai	1,94816194	1,81	0,0017
Traço de Hotelling-Lawley	4,51109074	2,15	0,0005

Observa-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos em todas as épocas de avaliação (Tabela 8).

Tabela 8 - Produção média estimada por planta em m³/ha, para as seis épocas de mensuração.

Tratamentos	18 meses	24 meses	30 meses	36 meses	42 meses	48 meses	Sobrevivência %
1- <i>E. urophylla</i> E2	5,830 ab	15,601 ab	29,515 ab	41,732 ab	58,074 b	65,337 ab	69,0
2 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> E2	4,171 ab	9,484 def	18,422 de	25,244 e	33,068 e	38,193 f	63,0
3 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> E2	2,955 b	9,85 cdef	19,069 de	26,094 de	40,661 d	42,957 ef	63,0
4 - Híbrido de Rio Claro E2	2,095 b	8,143 def	17,431 e	24,685 e	42,612 d	46,032 e	64,0
6 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> E2	5,671 ab	14,802 abc	26,914 bc	39,133 b	55,295 b	60,345 bc	74,0
7 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> E1	8,609 a	18,802 a	34,491 a	46,166 a	58,001 b	64,321 ab	85,3
8 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> E1	5,984 ab	15,742 ab	31,752 ab	42,111 ab	63,568 a	69,16 a	85,0
9 - Híbrido de Rio Claro E1	4,606 ab	12,311 bcd	27,13 bc	33,478 c	54,04 bc	56,834 cd	80,0
11 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> E1	4,440 ab	11,511 bcd	20,529 de	30,607 cd	42,713 d	45,742 ef	53,0
12 - <i>E. urophylla</i> E2	4,075 ab	10,408 cde	23,049 cd	33,089 c	49,452 c	54,329 d	56,0
13 - <i>E. citriodora</i> E2	2,047 b	4,935 f	9,799 f	14,274 f	20,456 f	24,023 g	54,0
14 - <i>E. urophylla</i> E1	3,371 b	11,053 bcd	18,485 de	25,808 de	34,414 e	38,162 f	56,0
15 - <i>E. citriodora</i> E1	2,756 b	6,024 ef	10,334 f	13,534 f	15,533 f	17,049 h	46,6

E1: espaçamento 2m x 2m; E2: espaçamento 3m x 2m.

DMS = 5,02975

Aos 18 meses os tratamentos com maiores volumes por hectare foram os T7; T8; T1 e T6 com médias de 8,609 m³/ha, 5,984 m³/ha, 5,830 m³/ha e 5,671 m³/ha respectivamente, mas não houve diferenças significativas entre elas, diferindo apenas dos tratamentos 3, 4, 13, 14 e 15, tendo este último a menor produção nesse período com as menores produções. Aos 24 meses foram observadas diferenças significativas, sendo T7 (18,802 m³/ha) e T8 (15,742 m³/ha) novamente os tratamentos com as melhores estimativas de produção, e as menores médias de produção foram as dos tratamentos 13 e 15. Os tratamentos T7 e T8 estiveram dentre as melhores produções em todas as épocas consideradas, inclusive na última medição (48 meses) ao lado dos tratamentos T1 e T6 (Tabela 9).

Tabela 9 - Produção, incremento médio anual (IMA) e sobrevivência dos clones mais produtivos na área experimental de São Bento do uma, aos 48 meses após o plantio.

Tratamento	Espaçamento	m ³ /ha	IMA m ³ /ha	Sobrevivência %
T8 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	2m x 2m	69,160	17,29	85
T1 - <i>Eucalyptus urophylla</i>	3m x 2m	65,337	16,33	69
T7 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	2m x 2m	64,321	16,08	85
T6 - <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	3m x 2m	60,345	15,09	74

O tratamento 1 (*Eucalyptus urophylla*) foi o que apresentou maior mortalidade dentre os clones mais produtivos, e apresenta-se como o segundo clone mais produtivo dentre os cultivados nesse experimento, possivelmente pelo maior espaçamento destinado a esses (3m x 2m), quando da mortalidade de alguns indivíduos há uma menor competição podendo favorecer seu melhor desenvolvimento, no entanto não possibilita aferir qual a densidade final após a mortalidade de alguns indivíduos. Dentre todos os clones o que apresentou a maior mortalidade foi o T15 (*Eucalyptus citriodora*). Dentre os derivados dos cruzamentos entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* mostraram-se mais produtivos, bem como o espaçamento 2m x 2m proporcionou a maior produção apresentada pelo tratamento 8, neste caso possivelmente o espaçamento proporcionou maior volume por apresentar mais indivíduos quando da extrapolação por hectare. No entanto o incremento apresentado por esse clone é inferior ao encontrado por Rocha (2012)

que obteve aos 7,5 anos um IMA de 29,68 m³/ha/ano com híbrido de *Eucalyptus urophylla*, no município de Araripina, Pernambuco.

O clone que apresentou melhor produtividade foi o clone referente ao tratamento 8, como pode ser visto na Tabela 9 é uma produtividade baixa quando comparada ao trabalho realizado por Gadelha et al., (2012), quando se observou uma produção média de 158,46m³/ha para clones de eucaliptos cultivados em Araripina, Pernambuco, aos 7,5 anos com *Eucalyptus urophylla*.

No entanto, quando comparados com espécies nativas no Polo Gesseiro do Araripe, como no trabalho de Barros (2009) que dentre as espécies avaliadas (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.(sabiá), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (jurema), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) (angico) e a vegetação nativa em plano de manejo na região do Araripe, a melhor produtividade foi obtida pelo sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) com IMA de 8,04 m³/ha e mata nativa (plano de manejo florestal) com 2,48 m³/ha, os resultados são promissores, denotando que mesmo com a baixa produtividade do *Eucalyptus* nessa área, ainda proporciona melhores resultados que a capacidade de retorno volumétrico apresentado pela vegetação nativa da Caatinga.

Discutindo cenários de produção da Caatinga, Barbosa (2011) contou com um IMA de aproximadamente 3,68 m³/ha na Caatinga, considerando um fator de empilhamento de 2,99 (Barros et al., 2010), seriam necessários um corte de 1079,20 ha/ano de Caatinga para um estoque de 53,51 m³/ha com ciclo de 15 anos, para suprir a demanda instalada pelas lavanderias no Agreste verificada em 2011 que foi de 57749,54 m³/ano. Com o IMA apresentado neste trabalho pelo clone (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) do tratamento 6, que dentre os quatro melhores apresentou a menor produção, com uma rotação de 4 anos obtém-se um estoque de 60,34 m³/ha, sendo necessárias 957 hectares plantados por ano para suprir essa demanda. Se esse clone fosse cultivado até metade do ciclo esperado para a Caatinga ou 7 anos, por apresentar um IMA de 15,09 m³/ha, estima-se uma produção de 105,63 m³/ha necessitando de 550 ha de plantios anuais.

A análise de variância para a sobrevivência dos clones não mostrou diferenças significativas em nenhuma das seis épocas analisadas. Os tratamentos que obtiveram maiores taxas de sobrevivência foram o T7 (85,3%), T8 (85%), T9 (80%) T6 (74%) e os com menores taxas de sobrevivência foram os T13 e T15 com

54% e 46,6% de sobrevivência respectivamente. Essa sobrevivência é baixa quando comparados aos dados obtidos por Rocha (2012) no Araripe em que os clones mais produtivos tiveram uma sobrevivência de 89%, 72% e 91% respectivamente.

Foram ajustados quatro modelos para a estimativa da produção em volume por planta, considerando os 13 tratamentos úteis. Os tratamentos cinco e 10 representado pelo clone 1407 (*Eucalyptus urophylla* x *E. sp*); por apresentarem altas mortalidades, e não foram utilizados nesta análise.

Após a análise de componentes principais obteve-se a separação de grupos com uso apenas dos três primeiros componentes, sendo que o primeiro explicou 46,20% da variância total. O segundo componente explicou 33,65%, o terceiro 7,29%, e o quarto 4,28% representando 91,42% da variância total. Por meio da análise de agrupamentos obtiveram-se três grupos, considerando o ponto de corte no dendrograma (Figura 2) igual a 40 (C=40).

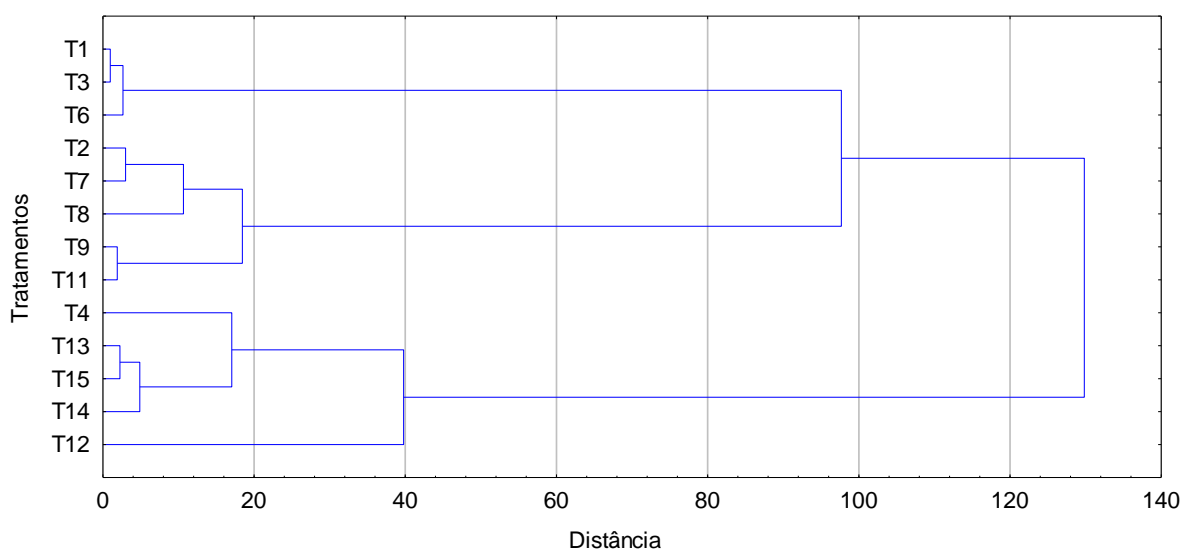


Figura 2. Dendrograma da análise de agrupamentos dos 13 tratamentos.

As equações e seus respectivos coeficientes, bem como o índice de ajuste e o erro percentual absoluto médio serão apresentados e discutidos para cada grupo, considerando os modelos clássicos usuais e os modelos simétricos, seguido dos gráficos de resíduos e índices de seleção da melhor equação.

4.1 Grupo 1

O grupo é composto pelos tratamentos 1 (cl 6500), 3 (cl 0321 – *E. grandis* x *E. urophylla*), e 6 (cl 0477 – *E. grandis* x *E. urophylla*).

Considerando distribuição normal para os erros da regressão, baseando-se no índice de ajuste corrigido (IA_c) e no Critério de Akaike (AIC), a melhor equação para estimativa de volume é a de Schumacher e Hall (Tabela 10). No entanto, pode-se observar que de acordo com o valor ponderado todas as equações apresentaram bons ajustes (Tabela 11), no entanto, as equações que obtiveram os melhores ajustes foram as de Schumacher e Hall e Chapman e Richard modificada.

Tabela 10 – Coeficientes e estatísticas de seleção da melhor equação para estimativa do volume de árvore.

Equação	Coeficientes	IA_c	AIC	EPAM
Silva-Bailey modificada	$\hat{\beta}_0 = 817,63336$	99,35	78,96	2,45
	$\hat{\beta}_1 = -5,576953$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,976072$			
	$\hat{\beta}_3 = 0,783458$			
Chapman-Richard modificada	$\hat{\beta}_0 = 828,47201$	99,45	45,81	2,37
	$\hat{\beta}_1 = 0,014736$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,021475$			
	$\hat{\beta}_3 = 4,359107$			
Schumacher e Hall	$\hat{\beta}_0 = 0,003915$	99,80	6,94	1,70
	$\hat{\beta}_1 = 1,98757$			
	$\hat{\beta}_2 = 1,006791$			
Brody modificada	$\hat{\beta}_0 = -10,015303$	98,87	61,43	2,28
	$\hat{\beta}_1 = -4,658163$			
	$\hat{\beta}_2 = -0,05067$			
	$\hat{\beta}_3 = -0,072163$			

Tabela 11 – Equações com seu respectivo valor ponderado (VP) das estatísticas de seleção de melhor ajuste.

	Equações	VP
Schumacher e Hall	$\hat{V}_i = \frac{0,003915 * (CAP_i^{1,98757}) * (H_i^{1,006791})}{1000}$	3
Chapman-Richard modificado	$\hat{V}_i = \frac{828,47201 * \{1 - e^{[(-0,014736 * CAP_i) + (-0,021475 * H_i)]}\}^{4,359107}}{1000}$	7
Brody modificado	$\hat{V}_i = \frac{-10,015303 + 4,658163 * e^{[(0,05067 * CAP_i) + (0,072163 * H_i)]}}{1000}$	9
Silva-Bailey modificado	$\hat{V}_i = \frac{817,63336 * e^{-5,576953 * [(0,976072 * CAP_i) + (0,783458 * H_i)]}}{1000}$	11

Assim como em outros trabalhos a equação de Schumacher e Hall apresenta a melhor eficiência de ajuste e tem sido utilizada na estimativa de volume de árvores, e tem mostrado bons ajustes, como pode ser visto nos trabalhos de Guimarães (1986); Silva; Campos; Leite (1996), nesse último trabalho os autores estimaram o volume de *Eucalyptus grandis* no município de Alagoinhas na Bahia, comparando com o modelo de razão volumétrica, modelo de Taper e modelo para estimativa de múltiplos volumes, fez uso do modelo de Schumacher e Hall para aferir este comparativo.

A equação de Chapman e Richard foi utilizada para estimativa do crescimento em volume sem casca de *Tectona grandis* na região Amazônica apresentando resultados satisfatórios, no entanto quando da estimativa de volume total com casca para a mesma espécie a equação de Chapman-Richard foi superada pela equação de Schumacher e Hall, que apresentou melhores estatísticas de ajuste e precisão (TONINI; COSTA; SCHWENGBER, 2009).

Os gráficos de resíduos podem ser observados abaixo servindo como apoio na decisão da melhor equação, segue os gráficos de distribuição dos resíduos nas figuras 3, 4, 5 e 6:

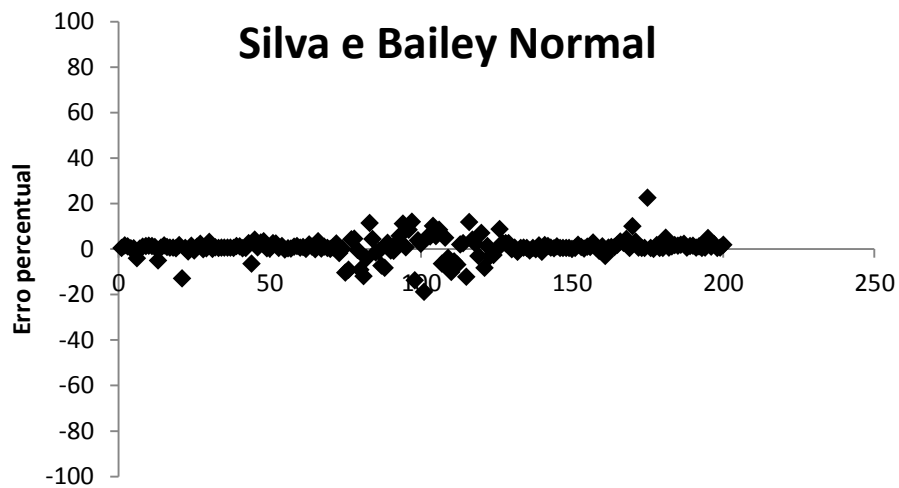


Figura 3- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificada, para estimativa de volume por planta.

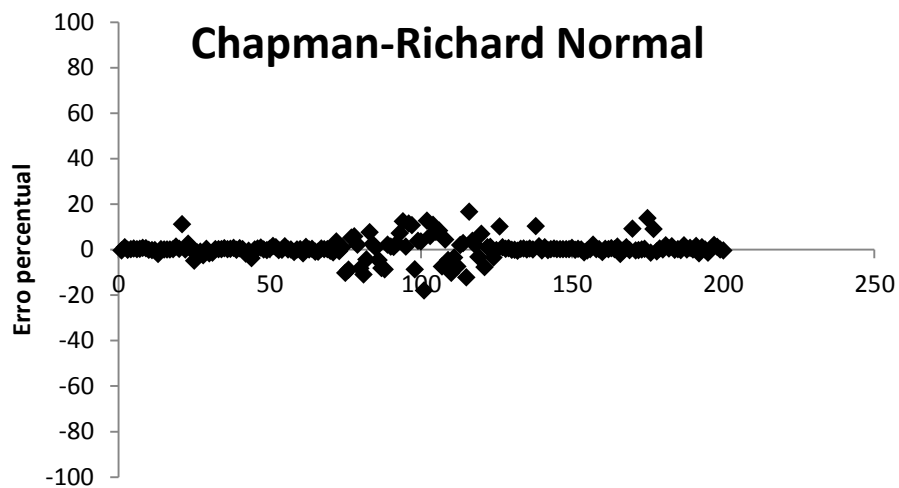


Figura 4- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.

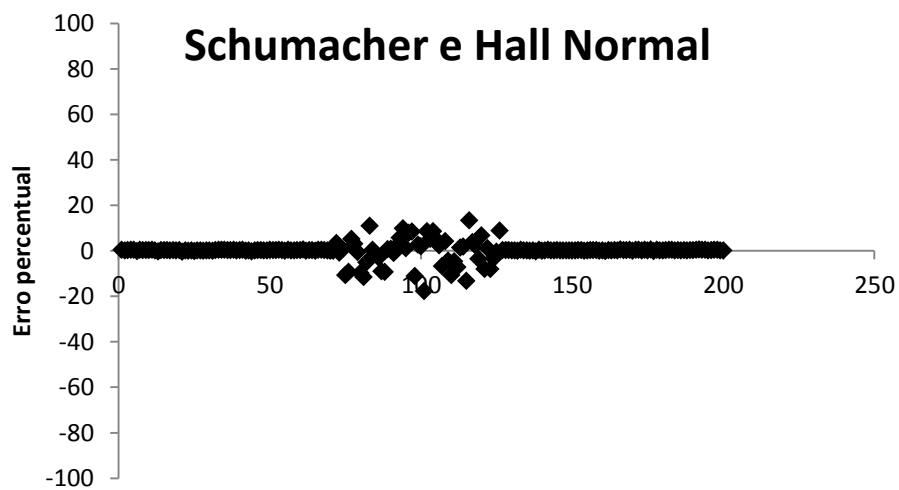


Figura 5- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.

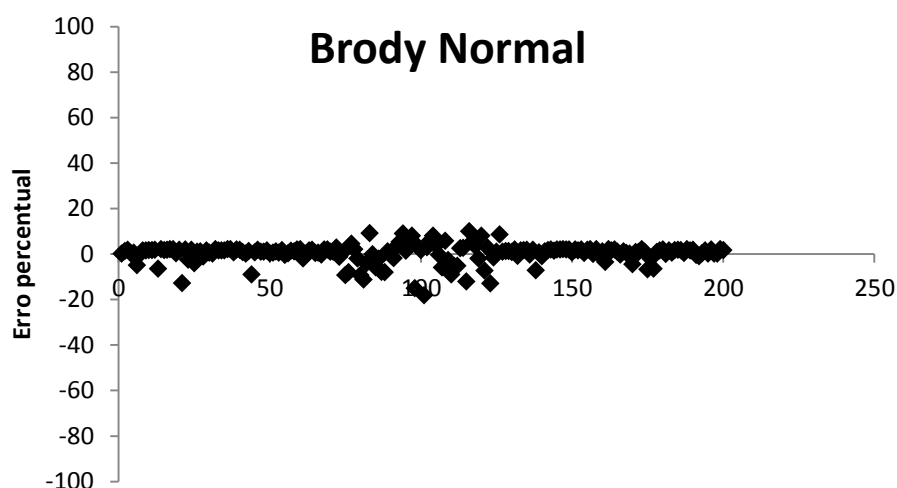


Figura 6- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada, para estimativa de volume por planta.

Os valores das estatísticas IA_c , AIC e EPAM das equações (Tabela 12) com a suposição da distribuição t-Student para os erros da regressão.

Tabela 12 - Estimativas dos coeficientes para os modelos volumétricos e estatísticas das equações com distribuição t-Student.

Equação	Coeficientes	IA_c	AIC	EPAM
Silva-Bailey modificada	$\hat{\beta}_0 = 538,094469$	99,45	63,57	2,37
	$\hat{\beta}_1 = -5,401936$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,97144$			
	$\hat{\beta}_3 = 0,786853$			
Chapman-Richard modificada	$\hat{\beta}_0 = 993,942765$	99,46	41,52	2,28
	$\hat{\beta}_1 = 0,013394$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,019249$			
	$\hat{\beta}_3 = 4,193076$			
Schumacher e Hall	$\hat{\beta}_0 = 0,003991$	99,54	9,10	1,65
	$\hat{\beta}_1 = 1,989947$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,996365$			
Brody modificada	$\hat{\beta}_0 = -12,345772$	99,44	42,74	2,14
	$\hat{\beta}_1 = -5,509101$			
	$\hat{\beta}_2 = -0,048029$			
	$\hat{\beta}_3 = -0,069332$			

Para análise gráfica dos resíduos usou-se os gráficos abaixo para cada equação de forma a apoiar a decisão das estatísticas, conforme segue nas figuras 7, 8, 9 e 10.

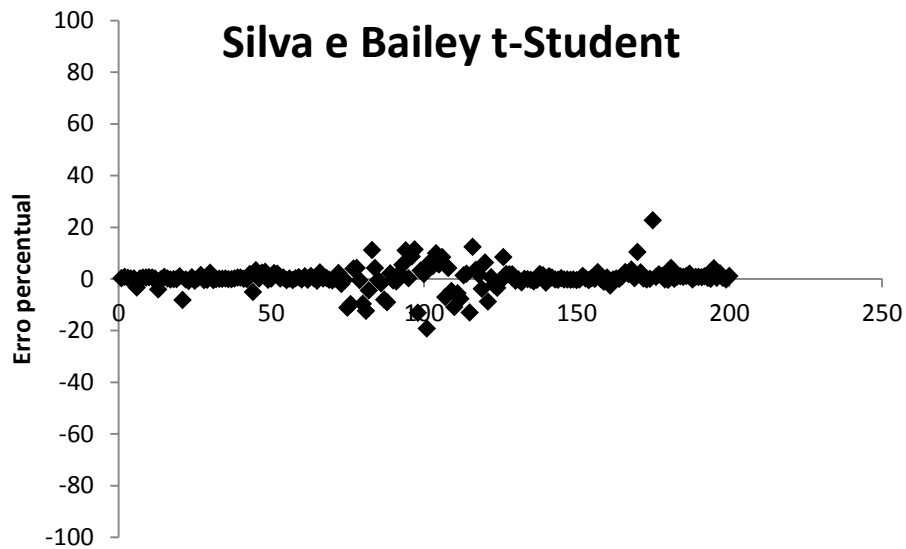


Figura 7- Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificado, para estimativa de volume por planta.

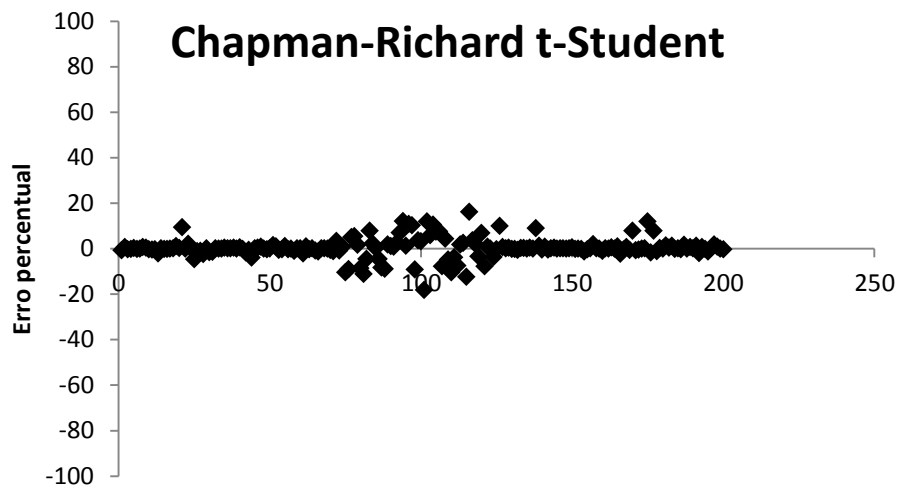


Figura 8-Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificado, para estimativa de volume por planta.

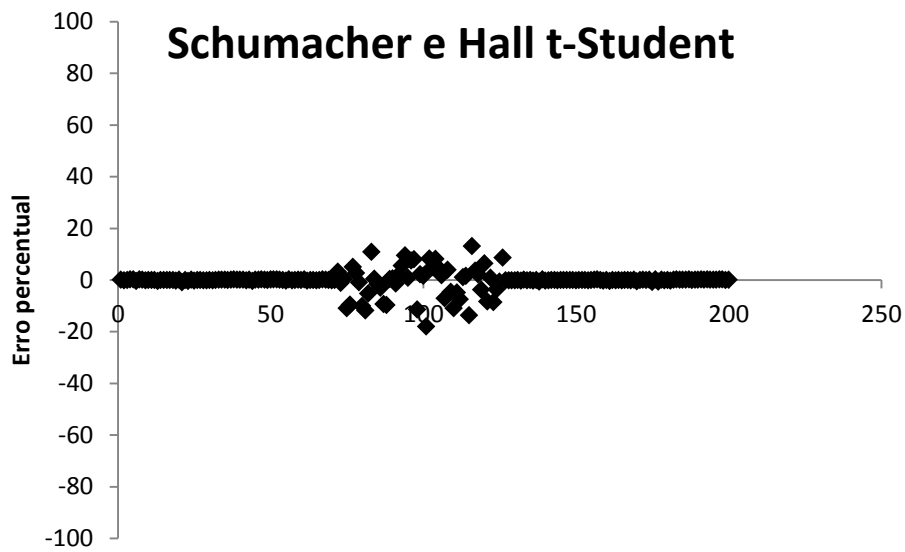


Figura 9-Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.

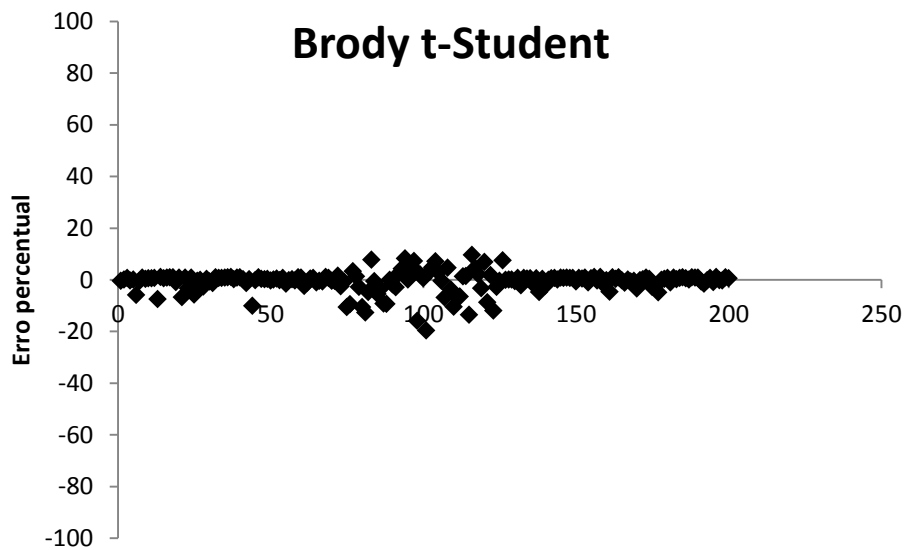


Figura 10 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificado para estimativa de volume por planta.

Definidas as melhores equações associadas à distribuição t-Student tem-se que a equação de Schumacher e Hall e Chapman-Richard modificada apresentaram os melhores resultados de ajustes aos dados do grupo 1 dos volumes de árvores do gênero *Eucalyptus* as equações com seus valores ponderado apresentadas na tabela 13.

Comparando as equações considerando apenas o valor ponderado como índice de seleção entre as equações com suposição normal e t-Student de

distribuição dos erros da regressão temos o ranking das equações (Tabela 14), quando do empate do VP, recorreu-se ao EPAM, IA_c e AIC respectivamente, caso o empate se mantenha.

Considerando as distribuições normal e t-Student, a distribuição t-Student proporcionou melhores ajustes aos dados e a melhor equações com esta distribuição é a de Schumacher e Hall assim como na distribuição normal, superando inclusive as demais equações com ambas as distribuições.

Tabela 13 – Equações e seus respectivos valores ponderados.

Equações		VP
Schumacher e Hall	$\hat{V}_i = \frac{0,003991 * (CAP_i^{1,989947}) * (H_i^{0,996365})}{1000}$	3
Chapman-Richard modificado	$\hat{V}_i = \frac{993,942765 \{1 - e^{[(-0,013394 * CAP_i) + (-0,019249 * H_i)]}\}^{4,193076}}{1000}$	7
Brody modificado	$\hat{V}_i = \frac{-12,345772 + 5,509101 * e^{[(0,048029 * CAP_i) + (0,069332 * H_i)]}}{1000}$	9
Silva e Bailey modificado	$\hat{V}_i = \frac{538,094469 * e^{-5,401936 * [(0,97144 * CAP_i) + (0,786853 * H_i)]}}{1000}$	10

Tabela 14 - Ranking das equações com distribuição normal e t-Student

Equação	Distribuição	VP	Ranking
Schumacher e Hall	Normal	4	1
Schumacher e Hall	t-Student	5	2
Chapman-Richard modificado	t-Student	10	3
Brody modificado	t-Student	12	4
Chapman-Richard modificado	Normal	14	5
Silva e Bailey modificado	t-Student	16	6
Brody modificado	Normal	17	7
Silva e Bailey modificado	Normal	20	8

Os resultados encontrados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Tomé et al., (2007), que testou quatro modelos de regressão para estimar o

volume de árvores de *Eucalyptus globulus* em Portugal e constatou que o de Schumacher e Hall deu origem a equação de melhor precisão, considerando que sua base de dados tinha distribuição normal.

Corroborando com resultados apresentados acima, a equação derivada do modelo de Chapman-Richards, segundo Rocha (2012), obteve um bom grau de ajuste e precisão na estimativa do volume de clones de eucaliptos plantados no Polo Gesseiro do Araripe em Pernambuco, quando considerada a distribuição normal para a base de dados. A distribuição t-Student promoveu melhorias expressivas nos ajustes das equações, de forma que comparando cada equação nas duas distribuições, apenas a de Schumacher e Hall foi melhor com a distribuição normal.

4.2 Grupo 2

O grupo 2 de tratamentos é formado pelos tratamentos T2 (cl 0520), T11 (cl 0477), T7 (cl 0520) e T8 (cl 0321) obtidos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e, T9 (cl 2361) híbrido de Rio Claro, Tabela 15.

Tabela 15 - Estimativas dos parâmetros, índice de ajuste corrigido, critério de Akaike (AIC) e EPAM.

Equação	Coefficientes	IA _c	AIC	EPAM
Silva e Bailey modificada	$\hat{\beta}_0 = 232,419738$	91,03	452,75	6,51
	$\hat{\beta}_1 = -4,714802$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,963301$			
	$\hat{\beta}_3 = 0,78014$			
Chapman-Richard modificada	$\hat{\beta}_0 = 213,884098$	91,49	441,02	6,52
	$\hat{\beta}_1 = 0,024893$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,036024$			
	$\hat{\beta}_3 = 4,617441$			
Schumacher e Hall	$\hat{\beta}_0 = 0,010704$	91,04	443,87	6,47
	$\hat{\beta}_1 = 1,719531$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,955629$			
	$\hat{\beta}_3 = -11,433707$			
Brody modificada	$\hat{\beta}_0 = -11,433707$	90,79	446,57	6,43
	$\hat{\beta}_1 = -5,704042$			
	$\hat{\beta}_2 = -0,046292$			
	$\hat{\beta}_3 = -0,067627$			

Baseado nos valores do IA_c , AIC e EPAM a melhor equação foi a de Schumacher e Hall, seguida da de Chapman-Richard, repetindo sua eficiência neste grupo de tratamentos.

Atribuindo-se os pesos as estatísticas e calculando o valor ponderado de cada equação, fez-se a categorização dos índices de seleção da melhor equação, no qual a equação de Schumacher e Hall seguida da equação de Chapman-Richard modificada mostraram os melhores ajustes aos dados. As atribuições de valores para as equações estão na tabela 16, sendo os menores valores os mais adequados.

Tabela 16 – Equações com o valor ponderado (VP) das estatísticas de seleção de melhor ajuste.

	Equações	VP
Schumacher e Hall	$\hat{V}_i = \frac{0,010704 * (CAP_i^{1,719531}) * (H_i^{0,955629})}{1000}$	6
Chapman-Richard modificada	$\hat{V}_i = \frac{213,884098 * \{1 - e^{[(-0,024893 * CAP_i) + (-0,036024 * H_i)]}\}^{4,617441}}{1000}$	6
Brody modificada	$\hat{V}_i = \frac{-11,433707 + 5,704042 * e^{[(0,046292 * CAP_i) + (0,067627 * H_i)]}}{1000}$	8
Silva e Bailey modificada	$\hat{V}_i = \frac{232,419738 * e^{-4,714802 * [(0,963301 * CAP_i) + (0,78014 * H_i)]}}{1000}$	10

Os gráficos de resíduos podem ser observados abaixo, servindo de apoio na decisão da melhor equação, permitindo observar sua distribuição e características de tendenciosidade.

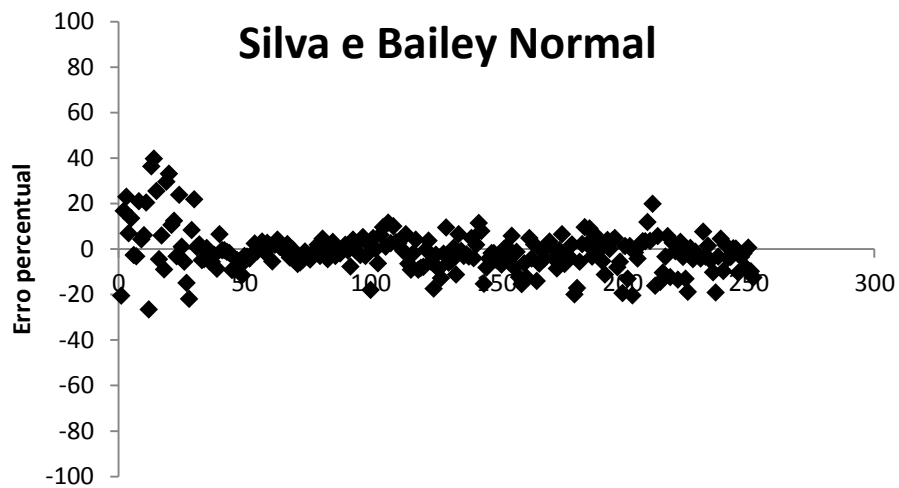


Figura 11 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Bailey modificada para estimativa de volume por planta.

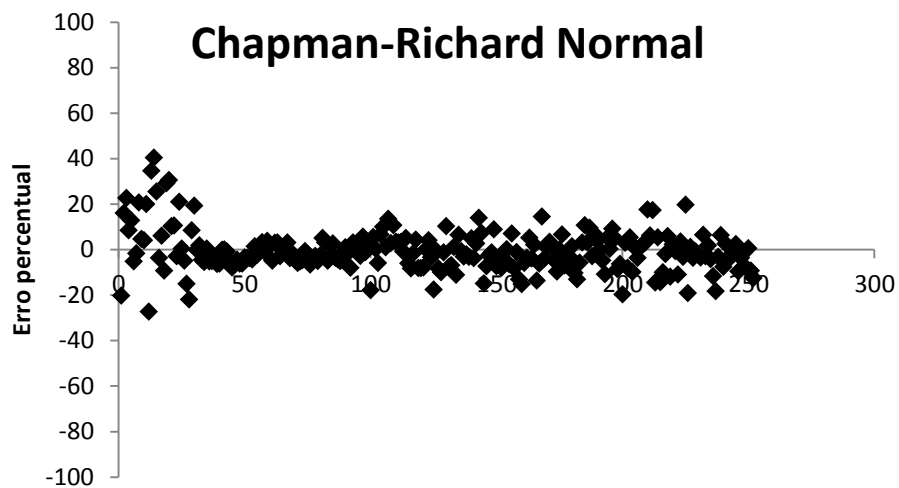


Figura 12 – Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.

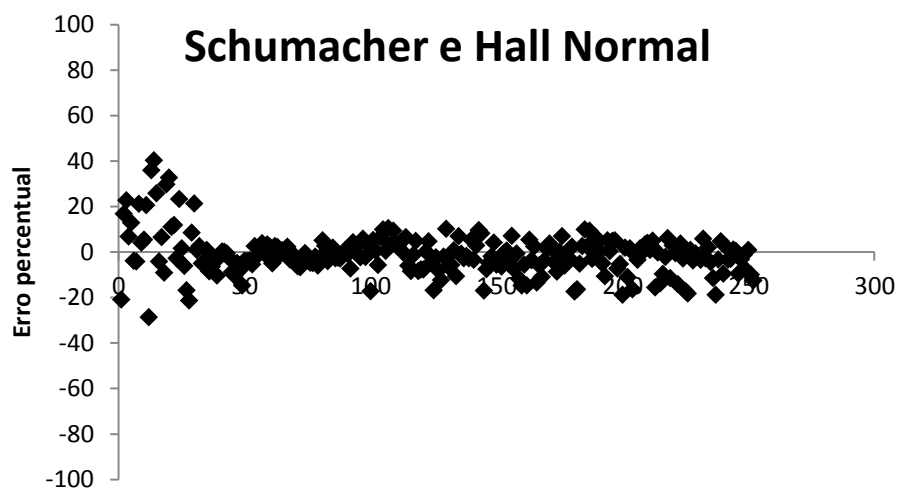


Figura 13 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall para estimativa de volume por planta.

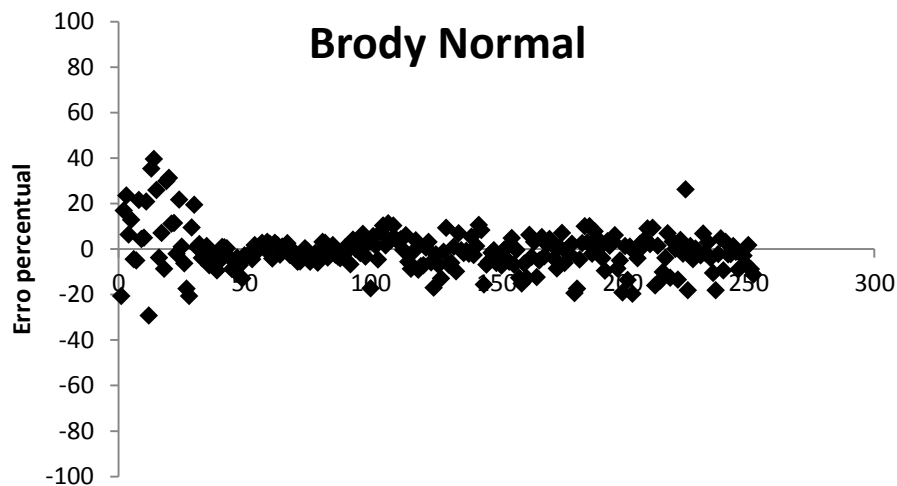


Figura 14 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada para estimativa de volume por planta.

Assim como foi realizado no grupo 1 de tratamentos, fez-se a aplicação com a suposição da distribuição t-Student para os erros da regressão, estabelecendo a estimativa dos parâmetros e das estatísticas de validação da equação (Tabela 17), com decisão apoiada na análise gráfica dos resíduos.

Baseado nas estatísticas observa-se que as equações de Schumacher e Hall e de Chapman-Richard modificada apresentaram os menores valores, validando a eficiência dos modelos.

O modelo de Schumacher e Hall foi também utilizado de forma eficiente para modelar volume de árvores como pode ser visto nos trabalhos de Guimarães (1986); Santos et al., (2006).

Azevedo, T et al., (2011) considerando que sua base de dados tinha distribuição normal, testou sete modelos para estimativa volumétrica em povoamentos de eucalipto no Sudoeste da Bahia e constatou que o modelo de Schumacher e Hall obteve o melhor grau de ajuste e maior precisão quando compara do os demais, resultado semelhante ao encontrado neste trabalho.

Tabela 17 - Coeficientes para os modelos volumétricos e estatísticas das equações com distribuição t-Student.

Equação	Coeficientes	IA _c	AIC	EPAM
Silva e Bailey modificada	$\hat{\beta}_0 = 194,151043$	93,33	462,30	6,09
	$\hat{\beta}_1 = -4,989061$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,958718$			
	$\hat{\beta}_3 = 0,76452$			
Chapman-Richard modificada	$\hat{\beta}_0 = 198,052376$	94,84	451,26	6,22
	$\hat{\beta}_1 = 0,027747$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,03511$			
	$\hat{\beta}_3 = 4,85154$			
Schumacher e Hall	$\hat{\beta}_0 = 0,007229$	96,06	460,98	5,95
	$\hat{\beta}_1 = 1,85245$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,933482$			
	$\hat{\beta}_3 = -8,759591$			
Brody modificada	$\hat{\beta}_0 = -8,759591$	90,79	458,59	6,00
	$\hat{\beta}_1 = -4,255076$			
	$\hat{\beta}_2 = -0,053655$			
	$\hat{\beta}_3 = -0,06973$			

Os gráficos de distribuição residual estão nas figuras abaixo, figuras 15, 16, 17 e 18.

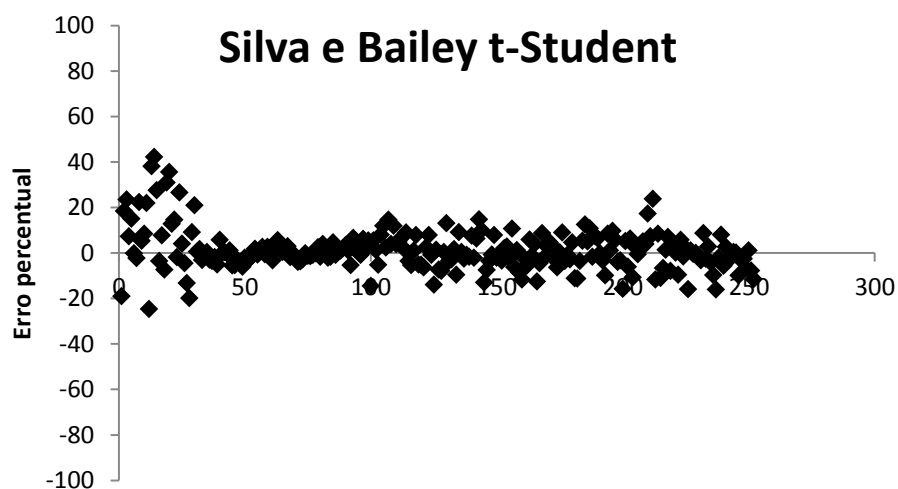


Figura 15 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Bailey modificada para estimativa de volume por planta.

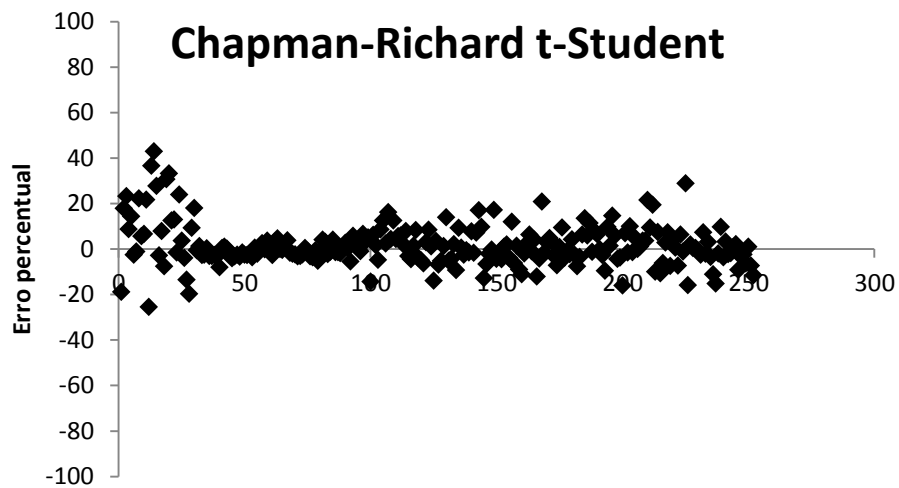


Figura 16 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.

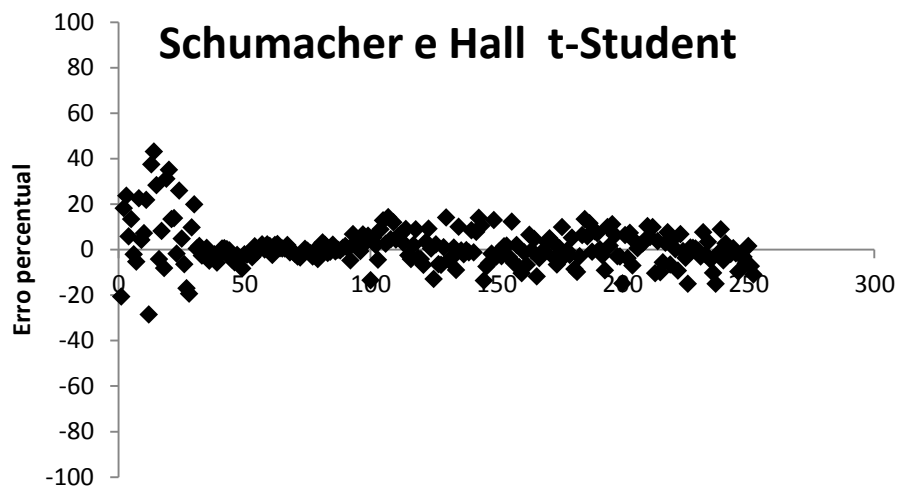


Figura 17 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall para estimativa de volume por planta.

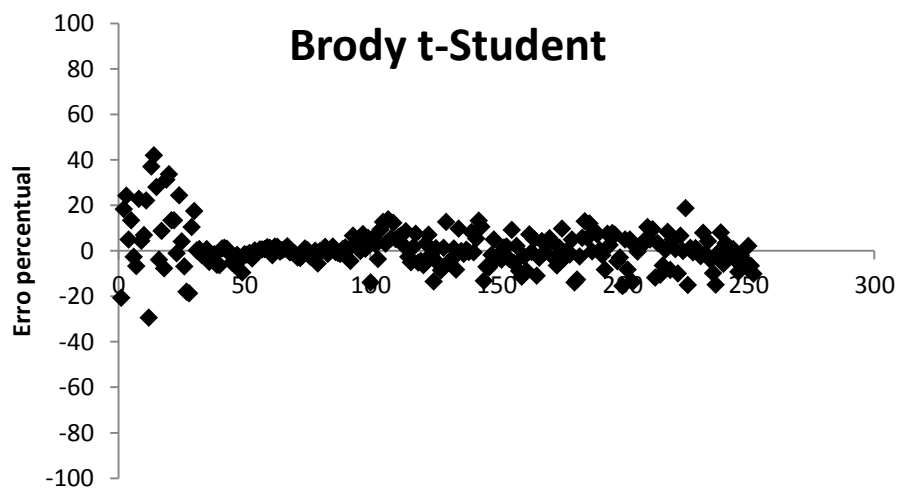


Figura 18 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada para estimativa de volume por planta.

Definidas as melhores equações associadas à distribuição t-Student tem-se que as equações de Schumacher e Hall e de Chapman-Richard modificada apresentaram os melhores resultados de ajustes aos dados do grupo 2 para os volumes de árvores (Tabela 18).

Tabela 18 – Ranking das três melhores equações com menor valor do erro percentual absoluto médio – EPAM.

Equações		VP
Schumacher e Hall	$\hat{V}_i = \frac{0,007229 * (CAP_i^{1,85245}) * (H_i^{0,933482})}{1000}$	5
Chapman-Richard modificado	$\hat{V}_i = \frac{198,052376 * \{1 - e^{[(-0,027747 * CAP_i) + (-0,03511 * H_i)]}\}^{4,85154}}{1000}$	7
Brody modificado	$\hat{V}_i = \frac{-8,759591 + 4,255076 * e^{[(0,053655 * CAP_i) + (0,06973 * H_i)]}}{1000}$	8
Silva e Bailey modificada	$\hat{V}_i = \frac{194,151043 * e^{-4,989061 * [(0,958718 * CAP_i) + (0,76452 * H_i)]}}{1000}$	10

Comparando as equações considerando o VP como índice de seleção entre os modelos com suposição normal e com a suposição da distribuição t-Student de distribuição dos erros da regressão temos o ranking das equações (Tabela 19).

Tabela 19. Ranking das equações com distribuição normal e t-Student

Equação	Distribuição	VP	Ranking
Schumacher e Hall	t-Student	9	1
Chapman-Richard modificada	t-Student	10	2
Schumacher e Hall	Normal	13	3
Chapman-Richard modificada	Normal	13	4
Silva e Bailey modificada	t-Student	14	5
Brody modificada	t-Student	15	6
Brody modificada	Normal	16	7
Silva e Bailey modificada	Normal	18	8

Assim, observa-se que a equação de Schumacher e Hall com distribuição t-Student seguida da equação de Chapman-Richard t-Student mostraram os melhores resultados sendo recomendada na estimativa de volume de árvores de *Eucalyptus* desse grupo de tratamentos.

No trabalho desenvolvido por Santos (2011), foram testados seis modelos para estimar o volume de árvores de eucaliptos e se constatou que as equações derivadas dos modelos de Chapman-Richards e Brody apresentaram os melhores índices de ajuste e precisão, diferindo dos resultados encontrados nesta pesquisa.

4.3 Grupo 3

As estimativas dos parâmetros e os respectivos índices de avaliação dos modelos estão na Tabela 20.

Tabela 20 - Coeficientes, índice de ajuste e erro padrão da estimativa para o volume por árvore.

Equação	Coeficientes	IA _c	AIC	EPAM
Silva e Bailey modificada	$\hat{\beta}_0 = 276,155064$	99,08	138,70	7,62
	$\hat{\beta}_1 = -5,229856$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,966064$			
	$\hat{\beta}_3 = 0,733755$			
Chapman-Richard modificada	$\hat{\beta}_0 = 940,664168$	98,32	129,81	7,27
	$\hat{\beta}_1 = 0,011055$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,013204$			
	$\hat{\beta}_3 = 3,360569$			
Schumacher e Hall	$\hat{\beta}_0 = 0,008408$	98,65	125,65	6,80
	$\hat{\beta}_1 = 1,882184$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,821642$			
	$\hat{\beta}_3 = -10,084608$			
Brody modificada	$\hat{\beta}_0 = -10,084608$	98,28	132,50	7,84
	$\hat{\beta}_1 = -5,173742$			
	$\hat{\beta}_2 = -0,050397$			
	$\hat{\beta}_3 = -0,061529$			

Este grupo é formado pelos tratamentos T4 (clone 2361), T13 e T15 (*Eucalyptus citriodora*) e, T12 e T14 (*Eucalyptus urophylla*).

Este grupo de tratamentos contou com os que proporcionaram a menor produção dentre os treze tratamentos, submetidos ao ajuste dos modelos observa-se que os erros percentuais foram maiores do que os encontradas nas estimativas dos Grupos 1 e 2.

Baseado nos valores ponderados dos escores estatísticos a melhor equação para estimativas de volume de árvores neste grupo (grupo 3) foi a equação derivada do modelo de Schumacher e Hall, seguido da equação de Chapman-Richard modificada (Tabela 21).

Como em outros trabalhos semelhantes, a equação de Schumacher e Hall apresenta a melhor eficiência de ajuste e tem sido bem utilizada na estimativa de volume de árvores, mostrando bons ajustes, como pode ser visto nos trabalhos de Carvalho (2010); Ferreira (2011); Azevedo, G. et al., (2011) visando avaliar equações de melhor ajuste ao volume de *Eucalyptus* identificando Schumacher e Hall com as melhores precisões.

Tabela 21 – Equações com o valor ponderado (VP) das estatísticas de seleção de melhor ajuste.

	Equações	VP
Schumacher e Hall	$\hat{V}_i = \frac{0,008408 * (CAP_i^{1,882184}) * (H_i^{0,821642})}{1000}$	4
Chapman-Richard modificada	$\hat{V}_i = \frac{940,664168 * \{1 - e^{[-0,011055 * CAP_i + (-0,013204 * H_i)]}\}^{3,360569}}{1000}$	7
Silva e Bailey modificada	$\hat{V}_i = \frac{276,155064 * e^{-5,229856 * [(0,966064 * CAP_i) + (0,733755 * H_i)]}}{1000}$	8
Brody modificada	$\hat{V}_i = \frac{-10,084608 + 5,173742 * e^{[(0,050397 * CAP_i) + (0,061529 * H_i)]}}{1000}$	11

Como ferramenta de aporte as decisões da melhor equação estão nas figuras 19, 20, 21 e 22 os gráficos residuais.

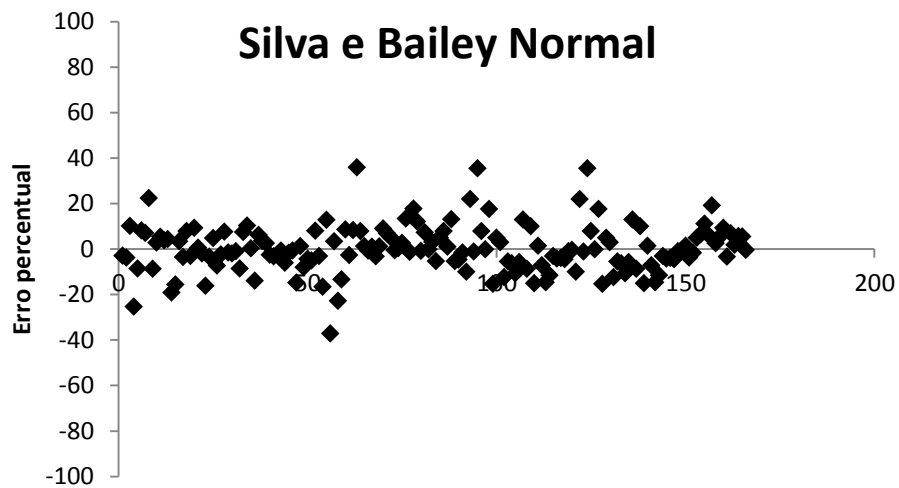


Figura 19 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificada para estimativa de volume por planta.

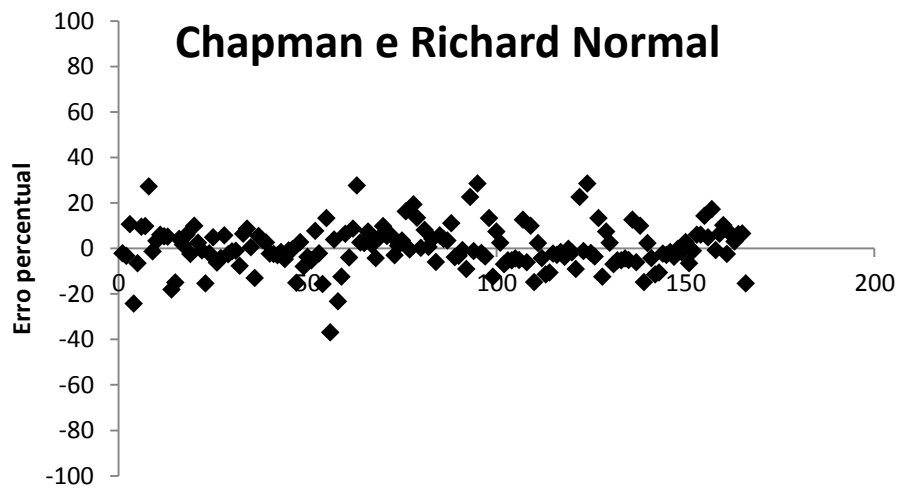


Figura 20 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.

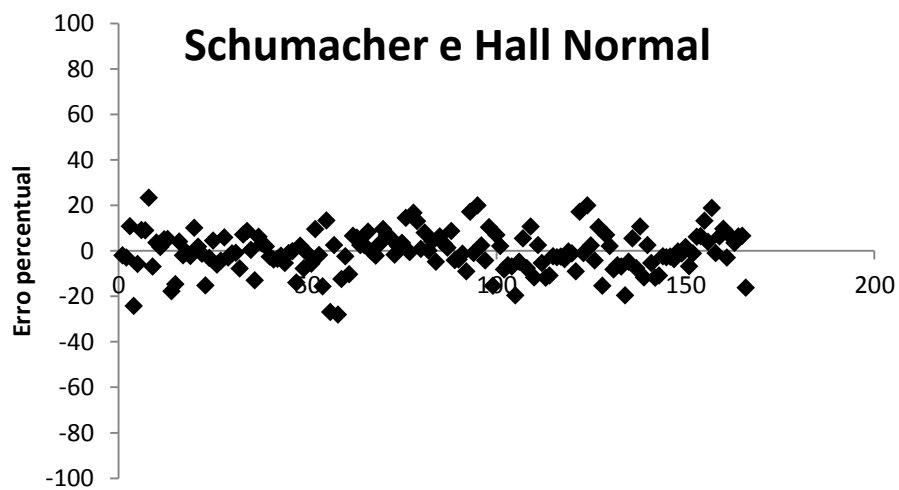


Figura 21 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.

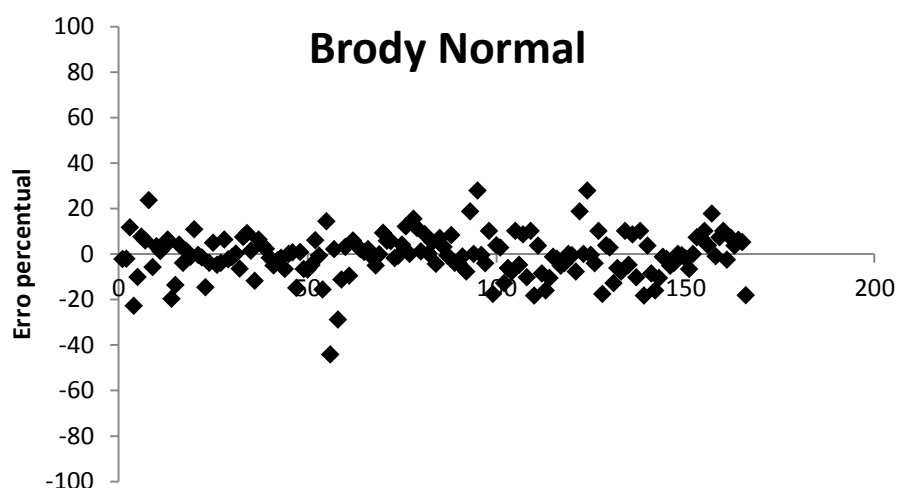


Figura 22 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada, para estimativa de volume por planta.

Os dados deste grupo foram também ajustados aos modelos com a suposição da distribuição t-Student para os erros da regressão, estabelecendo a estimativa dos parâmetros, o erro percentual absoluto médio – EPAM (Tabela 22).

Tabela 22 - Coeficientes e estatísticas de validação das equações com distribuição t-Student.

Equação	Coeficientes	IA _c	AIC	EPAM
Silva e Bailey modificada	$\hat{\beta}_0 = 256,935941$	98,11	142,56	7,36
	$\hat{\beta}_1 = -5,38144$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,964952$			
	$\hat{\beta}_3 = 0,709472$			
Chapman-Richard modificada	$\hat{\beta}_0 = 509,962412$	98,04	136,21	7,14
	$\hat{\beta}_1 = 0,014982$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,017094$			
	$\hat{\beta}_3 = 3,536231$			
Schumacher e Hall	$\hat{\beta}_0 = 0,008915$	98,52	128,20	6,63
	$\hat{\beta}_1 = 1,914354$			
	$\hat{\beta}_2 = 0,747396$			
Brody modificada	$\hat{\beta}_0 = -9,763681$	97,97	134,97	7,49
	$\hat{\beta}_1 = -5,150455$			
	$\hat{\beta}_2 = -0,050959$			
	$\hat{\beta}_3 = -0,058968$			

Baseado nas estatísticas pode-se ver que as equações de Schumacher e Hall e Chapman-Richard modificada apresentaram os menores valores, validando a eficiência do modelo.

Resultado semelhante foi obtido por Santos (2010) utilizou modelos simétricos transformados na estimativa volumétrica em híbrido de *Eucalyptus tereticornis* e observou que o modelo não linear de Schumacher e Hall combinado com a distribuição t-Student ajustou-se melhor aos dados.

Para análise gráfica dos resíduos usou-se os gráficos abaixo para cada modelo, de forma a apoiar a decisão do EPAM, presente nas figuras 23, 24, 25 e 26.

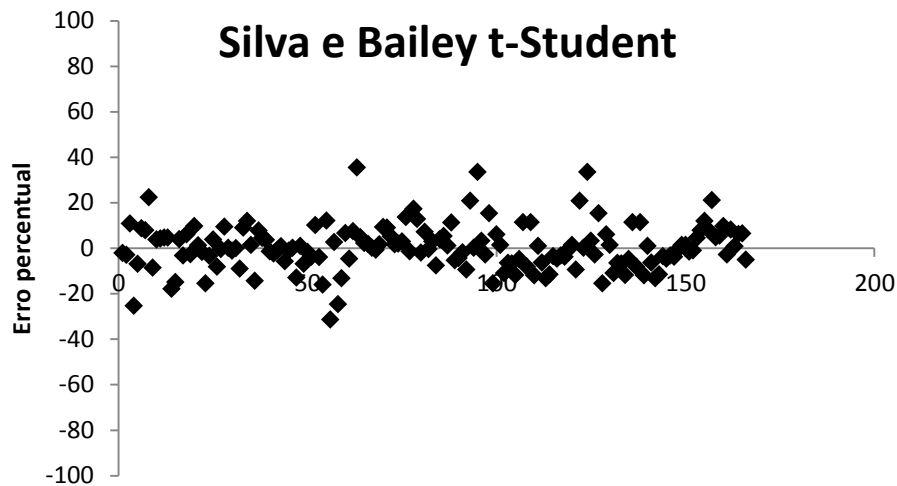


Figura 23 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Silva e Bailey modificada para estimativa de volume por planta.

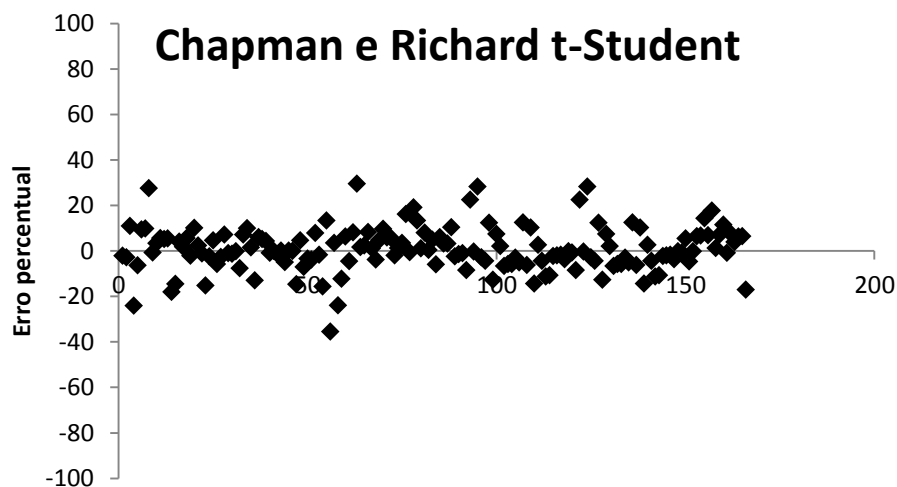


Figura 24 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Chapman-Richard modificada, para estimativa de volume por planta.

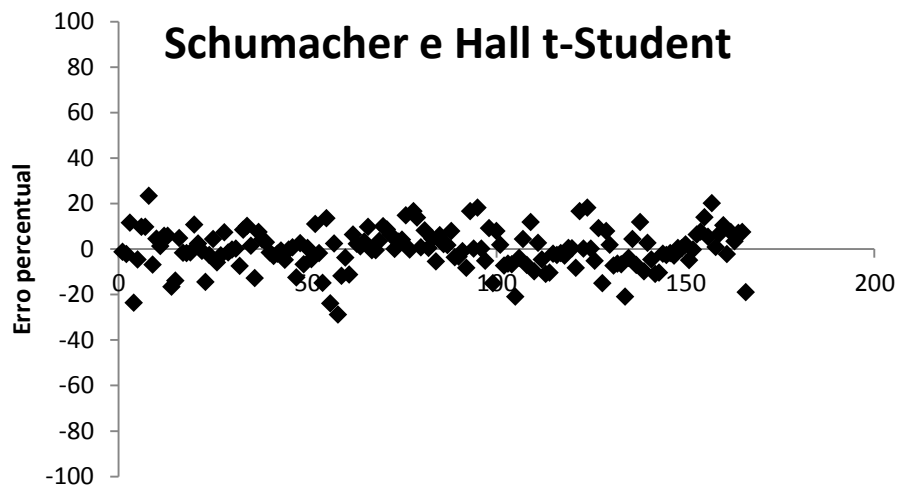


Figura 25 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Schumacher e Hall, para estimativa de volume por planta.

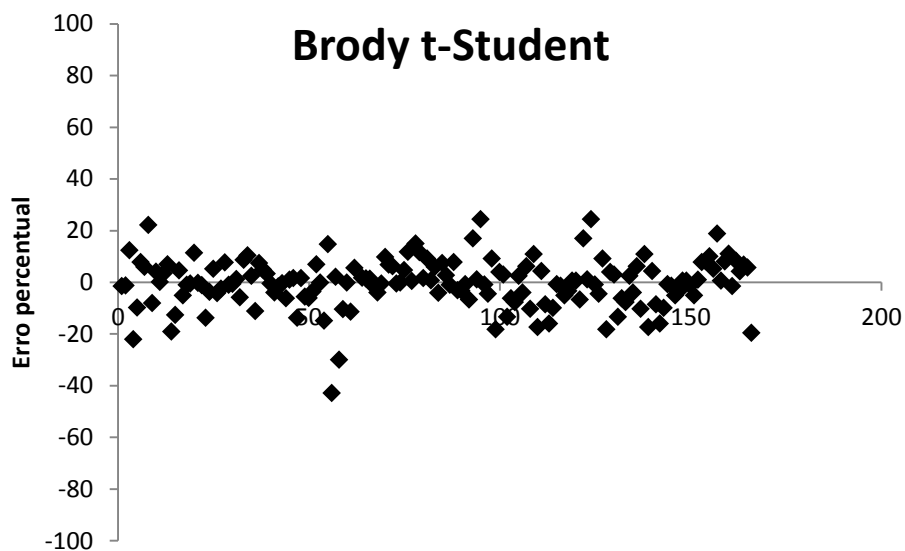


Figura 26 - Distribuições gráficas dos resíduos para a equação de Brody modificada, para estimativa de volume por planta.

Definidas as melhores equações associadas à distribuição t-Student tem-se que as equações de Schumacher e Hall, e Chapman-Richard modificada apresentaram os melhores resultados de ajustes aos dados do grupo 3 dos volumes de árvores de *Eucalyptus*, tabela 23.

Azevedo (2009), também identificou a equação de Schumacher e Hall com o melhor ajuste e precisão na estimativa de volume de *Eucalyptus* sendo comparado entre seis equações.

Tabela 23 – Ranking das três melhores equações com menor valor do erro percentual absoluto médio – EPAM.

	Equações	VP
Schumacher e Hall	$\hat{V}_i = \frac{0,008915 * (CAP_i^{1,914354}) * (H_i^{0,747396})}{1000}$	3
Chapman-Richard modificado	$\hat{V}_i = \frac{509,962412 * \{1 - e^{[(-0,014982 * CAP_i) + (-0,017094 * H_i)]}\}^{3,536231}}{1000}$	8
Silva e Bailey modificada	$\hat{V}_i = \frac{256,935941 * e^{-5,38144 * [(0,964952 * CAP_i) + (0,709472 * H_i)]}}{1000}$	9
Brody modificado	$\hat{V}_i = \frac{-9,763681 + 5,150455 * e^{[(0,050959 * CAP_i) + (0,058968 * H_i)]}}{1000}$	10

O comparativo entre as equações com suposição da distribuição normal e t-Student de distribuição dos erros da regressão, tem-se o ranking das equações (Tabela 24).

Tabela 24 – Ranking das equações com distribuição normal e t-Student.

Equação	Distribuição	VP	Ranking
Schumacher e Hall	Normal	5	1
Schumacher e Hall	t-Student	6	2
Chapman-Richard modificado	Normal	11	3
Silva e Bailey modificado	Normal	15	4
Chapman-Richard modificado	t-Student	16	5
Brody modificado	Normal	17	6
Silva e Bailey modificado	t-Student	19	7
Brody modificado	t-Student	19	8

Assim, observa-se que a equação de Schumacher e Hall em ambas as distribuições mostrou os melhores resultados sendo recomendada na estimativa de volume de clones de eucalipto desse grupo de tratamentos.

De acordo com os resultados apresentados para os três grupos é possível observar que as equações que obtiveram os melhores ajustes foram Schumacher e Hall, Chapman-Richard modificada,

No grupo 1 de tratamentos a distribuição normal predominou com as equações de Schumacher e Hall, Chapman-Richard modificada e Silva e Bailey modificada como as três melhores equações. No grupo 2 a distribuição normal associada a equação de Schumacher e Hall obteve o melhor ajuste, seguida da mesma equação com distribuição t-Student e da equação de Chapman-Richard modificada com distribuição t-Student. No grupo 3 a distribuição t-Student predominou com as equações de Schumacher e Hall e Chapman-Richard modificada, seguida da equação de Schumacher e Hall com distribuição normal.

Diante destes resultados, merece destaque o modelo proposto por Schumacher e Hall, que obteve os melhores escores estatísticos para os três grupos e as duas distribuições consideradas. É um dos modelos mais utilizados para estimativa do volume de madeira no setor florestal, por apresentar estimativas precisas e distribuição gráfica dos resíduos livres de tendências (SILVA, 1977; CLUTTER et al., 1983; GUIMARÃES; LEITE 1996; LEITE. ANDRADE 2002; MACHADO; CONCEIÇÃO; FIGUEIREDO, 2002).

Corroborando com os resultados deste estudo, Lima Filho *et al.*, (2012) usou o modelo de Chapman-Richard supondo as distribuições normal, t-Student e Cauchy e constatou que a distribuição t-Student foi mais apropriada para distribuição dos dados, para clones de eucaliptos plantados no Polo Gesseiro do Araripe. Neste trabalho essa distribuição predominou dos grupos 2 e 3. No entanto considerando apenas a melhor equação de cada grupo, a distribuição normal esteve com melhor ajuste nos grupos 1 e 2, superando a distribuição t-Student.

Assim, a implantação de clones e espécies de *Eucalyptus* no Agreste Meridional gera uma expectativa para atender a demanda energética de alguns empreendimentos alocados na região, e compartilhar da oferta de lenha juntamente com a vegetação nativa, como também a possibilidade de reproduzir o cultivo em outras áreas a serem experimentadas, para favorecer a tomada de decisões pode-se usar as metodologias existentes como a modelagem supondo erros com distribuição normal bem como com distribuições mais adequadas ao comportamento dos dados.

5 CONCLUSÕES

Os tratamentos cinco e 10 representados pelo clone 1407 (*E. urophylla* x *E. sp*) não são recomendados para cultivo no Agreste Meridional de Pernambuco por apresentar alta mortalidade;

O clone que apresentou maior produtividade foi o Clone 0321 (*E. grandis* x *E. urophylla*) com o espaçamento 2m x 2m e IMA de 17,29 m³/ha/ano;

O modelo de Schumacher e Hall Normal proporcionou melhores ajustes aos dados analisados, sendo recomendado para a previsão de volume de árvores;

O uso de modelos com distribuição t-Student dos erros da regressão promove melhores ajustes, considerando as quatro melhores equações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011/ABRAF. – Brasília: 2012. 150p.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, A. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do Eucalipto**. 1 ed. Viçosa: UFV, 2004. 442 p.

ANDRADE, E. N. **O Manual do plantador de Eucalipto**. São Paulo. Tipografia Brasil de Rothschild & Companhia. 1911.

ANDRADE, E. N. **O Eucalipto e suas aplicações**. São Paulo. Tipografia Brasil de Rothschild & Cia. 1928.

ANDRADE, E. N. **O Eucalipto**. 2 ed. Companhia Paulista de Estradas de Ferro. 1961.

ASSMANN, E., 1970. **The Principles of Forest Yield Study**. Pergamon Press, New York, 506 pp.

AZEVEDO, T. L. Ajuste de equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus sp.*, localizado na Floresta Nacional do Ibura, Sergipe. 2009. 38 f. Monografia (Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Sergipe. São Critóvão-SE, 2009.

AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus sp.* localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v.6, n.1, p.105-112, 2011.

AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; BARRETO, P. A. B.; CONCEIÇÃO JUNIOR, V. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n.68, p.309-318, 2011.

BALLONI, E.A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, SP, p. 1-16, (Série Técnica, 3), 1980.

BARBOSA, W. B. **Demanda de biomassa florestal e a problemática ambiental associada à extração vegetal**: abordagem no pólo de confecções do Agreste pernambucano. 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural do Pernambuco, Recife, PE, 2011.

BARROS, B. C. **Volumetria, calorimetria e fixação de carbono em florestas plantadas com espécies exóticas e nativas usadas como fonte energética no Pólo Gesseiro do Araripe – PE**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) 2009.

BARROS, B. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; REBOUÇAS, A. C. N. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no polo gesseiro do Araripe, PE. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 641-647, 2010.

BATISTA, J. L. F.; MAQUESINI, M.; VIANA, V. M. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no Estado de São Paulo e sul do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Scientia Forestalis**, n. 65, p. 162-175, 2004.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, 2002.

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

CARVALHO, A. D. F. Histórico do melhoramento genético de Eucalipto no Brasil. Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. Seminário em Genética e Melhoramento Genético de Plantas. Departamento de Genética – Piracicaba – SP. Disponível em: <<http://www.genetica.esalq.usp.br/pub/seminar/ADFCarvalho-200602-Resumo.pdf>>. Acesso em: 29 de outubro de 2012.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L.. **Timber Management: a quantitative approach**. New York, John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

COELHO, A. S. R.; MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W. Comportamento de espécies de *Eucalyptus* face ao espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n.1, p.29-55, 1970.

CORRAL-RIVAS, J. J.; BARRIO-ANTA, M.; AGUIRRE-CALDERÓN, O. A.; DIÉGUEZ-ARANDA, U. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). **Forestry**, v. 80, n. 1, 2007.

COSTA, D. H. M.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. Crescimento de árvores em uma área de terra firme na Floresta Nacional de Tapajós após a colheita de madeira. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 50, p. 63-76, 2008.

COUTO, L.; MULLER, M. D.; DIAS, A. N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; FONSECA, E. M. B.; CORRÊA, M. R. Espaçamento de plantio de espécie de rápido crescimento para dendroenergia. Belo Horizonte: CEMIG, p. 66, 2002.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São Bento do Uma, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

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.

DUTRA, L. F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. A Micropropagação de Eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.58, p.49-59, 2009.
FERREIRA, J. C. S.; SILVA, J. A. A.; MIGUEL, E. P.; ENCINAS, J. I.; TAVARES, J. A. Eficiência relativa de modelos volumétricos com e sem a variável altura da árvore. **Revista ACTA Tecnológica**, Maranhão V. 6, n. 1, 2011.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; MELO, I. V.; JORGE, D. L.; TAVARES, J. A.; SILVA, S. P. R. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus sp.* no Polo Gesseiro do Araripe, PE. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 331-341, 2012.

GOLFARI, L.; CASER, R. L. Zoneamento Ecológico da Região Nordeste para Experimentação Florestal. Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado. PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, **Séria Técnica**, N.º 10. Belo Horizonte, 1977.

GUIMARÃES, D. P. Variação do modelo de Schumacher e Hall para ajuste de equações volumétricas. **Embrapa-CPAC**, Planaltina, 18p. 1986.

GUIMARÃES, D. P ; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 50, p. 37-42,1996.

HASSE, G. Eucalipto: História de um Imigrante Vegetal. Porto Alegre, Já Editores. 2006, 127p.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. Plantio de Eucalipto na Pequena Propriedade Rural. **Embrapa Florestas**, Curitiba, PR, Documentos, 54, 2000.

IMAÑA-ENCINAS, J. I; SILVA, G. F; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 43p.: il. – (Comunicações técnicas florestais; ISSN 1517-1922; v.7, n.1).

JORGE, L. A. B; VEIGA, R. A. A; PONTINHA, A. A. S. A Função Weibull no estudo de distribuições diamétricas em povoamento de *Pinus elliottii* na estação experimental de Itapeva. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 54-60,

JORGE, L. A. B; VEIGA, R. A. A; PONTINHA, A. A. S. A Função Weibull no estudo de distribuições diamétricas em povoamento de *Pinus elliottii* na estação experimental de Itapeva. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 54-60,1990.

JUVENAL, T. L. MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES setorial**, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, 2002

LADEIRA, B.C., REIS, G.G., REIS, M.G.F., SILVA, J.F. Biomassa de eucalipto em sítios de baixa produtividade, em Minas Gerais, Brasil. In: **IUFRO** Conference on

Silviculture an Improvement of Eucalypts, 1997, Proceedings, Vol.3. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, p. 48-53.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SANS, L. M. FABRES, A. S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SANS, L. M. FABRES, A. S. Relações hídricas em povoamento de Eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 23, p.9-16, 1999.

LEITE, H.G.; 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 FILHO, L. M. A.; SILVA, J. A. A.; CORDEIRO, G. M.; FERREIRA, R. L. C. Modelagem do crescimento de clones de *Eucalyptus* via modelo de Chapman-Richards com diferentes distribuições simétricas. SINAPE - Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 19, **Anais...** 2010. Águas de São Pedro – SP.

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.; SILVA, J. A. A.; CORDEIRO, G. M.; FERREIRA, R. L. C. Modelagem do crescimento de clones de *Eucalyptus* usando o modelo de Chapman-Richards com diferentes distribuições simétricas dos erros. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 777-785, 2012.

LIMA, W. P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185- 196, 2002.

MARTINS, R, J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um *harvester* trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de Eucalipto. **Revista Scientia Florestalis**, Piracicaba, SP, v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.

MARCOLINO, L. **Crescimento de clones de Eucalipto em quatro espaçamentos de plantio no interior de São Paulo**. 2010. 36p. Monografia (Graduação) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2010.

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

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

MELLO, H. A.; RENSI COELHO, A. S.; CIERO NETTO, A.; SIMÕES, J. W.; BERGER, R.; COUTO, H. T. Z. A influência da espécie do espaçamento e da idade no custo de produção de madeira industrial. **IPEF**, Piracicaba, SP, n.5, p.17-28, 1972.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 69, p.25-37, 2005.

MENDES, B. R.; CALEGARIO, N.; VOLPATO, C. E. S.; MELLO, A. A. Desenvolvimento de modelos de crescimento de árvores individuais fundamentado em equações diferenciais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 254-263, 2006.

MIGUEL, E.P.; CANZI, L. F.; RUFINO, R. F.; SANTOS, G. A. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde – GO. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.6, n.11, 2010.

MORA, A. L. GARCIA, C. H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil**, São Paulo-SP, 2000.

NAHUZ, M. A. R.; POFFO, O.; BRAINER, M. S. C. P.; LELO, P. K. Y.; ROMAGNANO, L. F. T.; HUMPHREYS, R. D.; AMARAL, F. L. M.; SOUZA, C. A. Setores consumidores de Madeira: aspectos do Mercado atual e potencial do Eucalipto. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

NEMEC, A. F. L. Analysis of repeated measures and time series: an introduction with forestry examples. *Biom. Inf. Handb.* 6. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap. N. 15, 1996.

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

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p.15-23, 2003.

OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; SOARES, C. P. B. SANTANA, R. C. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.133-141, 2009.

QUEIROZ, L. R. S., BARRICHELO, L. E. G. **O Eucalyptus: um século no Brasil**. 1 ed. São Paulo/SP, 2007.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. O. S. Uso do *Eucalyptus* em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na

região sudoeste do Paraná. **Revista Synergimus Scientifica**, Pato Branco, n. 6, v. 1, 2001.

REZENDE, G. C.; SUITER FILHO, W.; MENDES, C. J. MORAIS, T. S. A. M. Novas técnicas de espaçamentos para *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, SP, (Circular Técnica), 1981.

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, Recife, PE, 2012.

SANTOS, K.; SANQUETTA, C. R.; EISFIELD, R. L.; WATZLAWICK, L. F.; ZILIOOTTO, M. A. B. Equações Volumétricas por Classe Diamétrica para Algumas Espécies Folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, 2006.

SANTOS, C. S. A. **Modelos simétricos transformados não-lineares com aplicação na estimativa volumétrica em híbrido de *Eucalyptus tereticornis* no Polo Gesseiro do Araripe**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

SANTOS, C. S. A. SILVA, J. A. A.; CORDEIRO, G. M.; GOUVEIA, J. F.; SILVA, A. O. Modelos Simétricos Transformados não lineares com aplicação na estimativa volumétrica em Híbrido de *Eucalyptus tereticornis* no Pólo Gesseiro do Araripe – PE. SINAPE – In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 19, **Anais...** 2010. Águas de São Pedro – SP.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Equações de volume e relação hipsométrica para plantio de *Ocotea porosa*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 13-21, 2012.

SCHLAEGEL, B. E. Testing, reporting, and using biomass estimation models. In: SOUTHERN FOREST BIOMASS WORKSHOP, 1981, Proceedings... s.1.: Clemson University, p.95-112, 1981.

SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2 ed. Santa Maria. FACOS. 2009. 294p.

SCHNEIDER, P. S. P.; FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Avaliação da relação densidade e diâmetro em povoamento de *Pinus taeda*. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 481-491, 2008.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

SILVA, J.A.A., Análise de equações volumétricas para a construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp., segundo a espécie, região e método de regeneração. 1977, 92 p. (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa-MG), 1977.

SILVA, J. A. A., BORDERS, B. E. BRISTER, G. H. A tree volume equation based on two lower stem diameters for Caribbean pine in Sri Lanka. The Commonwealth Forestry Association. **Commonwealth Forestry Review**, v. 71, n. 2,1992.

SILVA, G. F.; CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Alternativas para estimar o volume comercial em árvores de eucalipto. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.20, n.4, p.467-481, 1996.

SILVA, S. M. F. S. **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, Recife, PE, 2008.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no Pólo Gesseiro do Araripe-Pernambuco. **Anais...** Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, v. 5 e 6, p.301-319, 2009.

SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Cultivo do Eucalipto, sistemas de Produção 4. **Embrapa Florestas**. ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica. Ago./2003. Disponível em:
http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/04_consideracoes_gerais_sobre_o_plantio.htm. Acesso em: 21 de novembro de 2012.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; BRITO, J. O.; MOREIRA, R. M. Produção de óleo essencial e balanço nutricional em *Corymbia citriodora* adubado com lodo de esgoto em diferentes espaçamentos. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 15, n. 3, p. 346-354, 2009.

SIMÕES, J. W. Reflorestamento e manejo de florestas implantadas. DOCUMENTOS FLORESTAIS, Piracicaba, 1989.

SINDUSGESSO (Sindicato da Indústria do Gesso do Estado do Pernambuco). Disponível em: < <http://www.sindusgesso.org.br/> > Acesso em: 15 de fevereiro de 2013.

SOUZA, C. R.; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; LIMA, R. M. B. Comportamento de *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Revista Scientia Forestalis**, n.65, p.95-101, 2004.

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

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

TOMÉ M. TOMÉ, J.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Equação de volume total, volume percentual e de perfil do tronco para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 25–40. 2007.

TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.59, p.05-14, 2009.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; BENTES-GAMA, M. M.; ROSSI, L. M. B. LOCATELLI, M. Dendrometria e avaliação da performance de clones de *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* x *E. Urophylla*) plantados na região central do Estado de Rondônia. Porto Velho, RO: **Embrapa Rondônia**, 2007. 17 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).