

STEVE MCQUEEN FERNANDO SOUZA DA SILVA

**COMPARAÇÃO ENTRE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS REGIONAIS E
EQUAÇÕES BASEADAS EM VOLUMES DA PRIMEIRA TORA EM CLONES DE
EUCALYPTUS NA CHAPADA DO ARARIPE- PE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre 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 - PE
FEVEREIRO - 2008**

STEVE MCQUEEN FERNANDO SOUZA DA SILVA

**COMPARAÇÃO ENTRE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS REGIONAIS E
EQUAÇÕES BASEADAS EM VOLUMES DA PRIMEIRA TORA EM CLONES DE
EUCALYPTUS NA CHAPADA DO ARARIPE- PE**

Aprovada em: 19 / 02 / 2008

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Josuel Arçanjo da Silva (UFCG)



Prof. Dr. Paulo de Paula Mendes (UFRPE)



Profª. Drª. Lúcia de Fátima de Carvalho Chaves (UFRPE)

Orientador:



Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva

**RECIFE-PE
2008**

FICHA CATALOGRÁFICA

S586c Silva, Steve Mcqueen Fernando Souza da
Comparação entre equações volumétricas regionais e equações baseadas em volumes da primeira tona em clones de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe - PE / Steve Mcqueen Fernando Souza da Silva . -- 2008.
58 f. : il.

Orientador : José Antônio Aleixo da Silva
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Ciência Florestal .

Inclui anexo e bibliografia.

CDD 634. 95

1. Equações volumétricas
 2. Cones de *Eucalyptus*
 3. Chapada do Araripe (PE)
- I. Silva, José Antônio Aleixo da
II. Título

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, com carinho e atenção, a meus pais, Marise e Carlos; a minha esposa e filho, Taciana e João Dionísio; a meus irmãos, Michael e Stéphanie; aos professores e técnicos do DCFL-UFRPE.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por minha existência e por toda força dada para vencer os obstáculos da vida.

Ao Professor José Antônio Aleixo da Silva, pela orientação e amizade.

Ao Professor Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, pela co-orientação e amizade.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao chefe da estação Experimental do IPA-Araripe, Dr. José Tavares Alves; aos técnicos de campo Allison e André; e aos funcionários Sinval, Bebinha, Quixaba, e Melki, pela colaboração e apoio na coleta de dados em campo.

À Gesso Aliança, na pessoa de Sr. Amauri, Sr. Aurílio e Sr. Emanuel, pela mão amiga nas horas mais difíceis.

À Comercial Agrícola Paineiras LTDA, pelas mudas cedidas.

Aos colegas de turma PPGCF, Perseu, Cauê, Allyson, Zé Roberto, Marcele, Pietro, André, pelo companheirismo e amizade no decorrer do curso.

Aos colegas Tarcísio, Esdras, Adriano, Janilson, Moacir, Franklin, Lucas e Luis, que em algum momento me ajudaram.

Aos alunos do curso de Engenharia Florestal que tiveram a oportunidade de realizar a cubagem na área do experimento e contribuíram para a coleta de dados do meu projeto de dissertação.

Ao colega Bruno Piana, estudante de Engenharia Florestal da UNB, pelo apoio em campo e pela amizade.

Aos caros amigos Fernando e Júlio pela convivência, críticas e sugestões.

Ao Grupo Capoeira Angola Dois Irmãos - UFRPE, pela convivência durante esses cinco anos.

Enfim, a todos que colaboraram, diretamente e indiretamente, para realização deste trabalho.

“E ando pela terra e vivo sobre o sol,
minhas minhas raízes eu balanço,
eu balanço me regar mãe
vem me regar...”

Edson Gomes

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 O Eucalipto.....	16
2.2 Planejamento Florestal.....	17
2.3 Cubagem Rigorosa.....	18
2.4 Modelagem do Volume.....	18
2.4.1 Modelos clássicos.....	20
2.4.1 Método dos diâmetros na primeira tora.....	20
2.5 Volume da árvore.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Local de coleta dos dados.....	24
3.2 Seleção das árvores.....	25
3.3 Cubagem das árvores amostras.....	26
3.4 Análises estatísticas.....	26
3.5 Modelos volumétricos.....	28
3.6 Escolha do modelo matemático.....	29
3.6.1 Coeficiente de determinação.....	29
3.6.2 Análise gráfica do resíduo.....	30
3.6.3 Erro padrão da estimativa.....	30
3.6.4 Coeficiente de variação.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Descrição do grupo A.....	34
4.1.1 Distribuição das árvores no experimento.....	34
4.1.2 volume do grupo.....	35
4.1.3 Análise gráfica dos resíduos.....	37
4.1.4 Comparação entre equações	40
4.2 Descrição do grupo B.....	41
4.2.1 Distribuição das árvores no experimento.....	41

4.2.2 volume do grupo.....	42
4.2.3 Análise gráfica dos resíduos.....	44
4.2.4 Comparação entre equações	46
5.CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	54

LISTA DE TABELAS

		Página
TABELA 1	Clones de <i>Eucalyptus</i> usados Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	25
TABELA 2	Distribuição das árvores amostradas, por classe de diâmetro e de altura, em inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	26
TABELA 3	Modelos ajustados para estimar o volume das árvores de <i>Eucalyptus</i> , em experimento realizado na Estação Experimental do Araripe (IPA) em Araripina-PE.	28
TABELA 4	Vinte e oito combinações de secções da primeira tora, utilizadas na avaliação dos volumes de árvores de <i>Eucalyptus</i> , em inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	29
TABELA 5	Resumo da ANOVA para a variável volume nos clones de <i>Eucalyptus</i> em experimento instalado na região do Pólo Gesseiro do Araripe, em Araripina-PE.	32
TABELA 6	Resultado do teste de Scott-Knott para a média dos volumes dos quinze clones do gênero <i>Eucalyptus</i> , no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	33
TABELA 7	Resultado do procedimento Stepwise, para os clones de <i>Eucalyptus</i> selecionados no grupo A, nos modelos utilizados para avaliação do experimento intitulado Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	33
TABELA 8	Resultado do procedimento Stepwise, para estimativa do volume de clones de <i>Eucalyptus</i> selecionados no grupo B, nos modelos utilizados na avaliação do experimento intitulado Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	34
TABELA 9	Distribuição das árvores por classe de diâmetro e de altura para as árvores de <i>Eucalyptus</i> spp. pertencentes ao grupo A, no inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	35
TABELA 10	Coeficientes das equações testadas para a estimativa de volume, para o grupo A, no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	36
TABELA 11	Resumo da ANOVA comparando os resultados dos volumes estimados pelas equações testadas e o volume real das árvores no inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	41

TABELA 12	Distribuição das árvores por classe de diâmetro e de altura para as árvores de <i>Eucalyptus</i> spp., pertencentes ao grupo B, no inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	41
TABELA 13	Parâmetros das equações testadas para a estimativa de volume para o grupo B no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.	43
TABELA 14	Resumo da ANOVA comparando os resultados dos volumes estimados pelas equações testadas para clones de <i>Eucalyptus</i> spp e híbridos, aos 60 meses, na Chapada do Araripe, Araripina-PE.	46

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 Protótipos dendrométricos da árvore, em que 1A – cilindro; 1B – parabolóide; 1C – neilóide; e 1D – cone.	21
FIGURA 2 Área experimental, de <i>Eucalyptus</i> spp. e híbridos, localizada na Estação Experimental do Araripe (IPA), em Araripina - PE.	24
FIGURA 3 Volumes reais e estimados referentes às equações do grupo A no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E e 6-F.	37
FIGURA 4 Distribuição dos resíduos referentes às equações do grupo A no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E; e 6-F.	39
FIGURA 5 Volumes reais e estimados referentes às equações do grupo B no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E; e 6-F.	44
FIGURA 6 Distribuição dos resíduos referentes às equações do grupo B no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E; e 6-F.	45

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro A	55
Quadro B	56
Quadro C	57

SILVA, STEVE MCQUEEN FERNANDO SOUZA DA. COMPARAÇÃO ENTRE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS REGIONAIS E EQUAÇÕES BASEADAS EM VOLUMES DA PRIMEIRA TORA EM CLONES DE *EUCALYPTUS* NA CHAPADA DO ARARIPE- PE, 2008. Orientador: José Antônio Aleixo da Silva. Co-orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho testar e comparar equações volumétricas regionais com equações baseadas em volumes, de diferentes secções, da primeira tora em clones de *Eucalyptus* na região da Chapada do Araripe – PE. O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, localizada no Município Araripina, no Semi-árido de Pernambuco, com coordenadas geográficas de posição 07°29'00' S e 40°36'00' W e altitude de 816 metros. O clima regional predominante do tipo BShw` de Koppen, quente e seco das baixas latitudes, com chuvas de verão. A base de dados utilizada foi composta por vinte e duas árvores de cada um dos quinze clones do experimento, totalizando 330 árvores. Os quinze clones de *Eucalyptus*, são resultantes de espécies e híbridos de cruzamento natural e polinização controlada (*Eucalyptus urophylla*; *Eucalyptus tereticornis*; Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita*; Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis*; e *Eucalyptus brassiana*). As árvores amostradas foram cubadas, rigorosamente, pelo método de Smalian. Após, procedeu-se o ajuste de modelos clássicos da literatura florestal: Spurr, Schumacher-Hall, Compreensiva, Naslund e Silva. Tais modelos foram comparados por meio do coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa, distribuição gráfica dos resíduos e facilidade de aplicação da equação. O teste de Skott-Knott foi aplicado para verificar se haviam diferenças volumétricas entre os clones e indicou a existência de dois grupos de clones (A e B). O procedimento Stepwise foi aplicado nas equações para selecionar e rejeitar variáveis independentes dos modelos. Como não houve diferenças significativas entre as equações resultantes, o modelo proposto por Silva foi considerado o mais indicado para estimar o volume dos clones de *Eucalyptus* na região da Chapada do Araripe-PE, devido o mesmo dispensar a estimativa da altura da árvore no campo e ter apresentado as seguintes estatísticas: Grupo A, $R^2_{aj} = 93,8\%$; $S_{xy} = 0,0076$; $CV = 8,49\%$. Grupo B: $R^2_{aj} = 95,5\%$; $S_{xy} = 0,0061$; $CV = 9,10\%$, com as seguintes equações: (Grupo A) $\log V_i = 3,2709 + 0,3412 \cdot \log[0,4712 \cdot (D^2_{0,30} + D^2_{1,50})] - 0,2069 \cdot \log[0,0785 \cdot (D^2_{0,90} + D^2_{1,10})] + 0,9981 \cdot \log[0,1571 \cdot (D^2_{1,30} + D^2_{1,70})]$. (Grupo B) $\log V_i = 1,2545 - 2,0618 \cdot \log[0,0785 \cdot (D^2_{0,30} + D^2_{0,50})] + 1,9019 \cdot \log[0,4712 \cdot (D^2_{0,30} + D^2_{1,50})] + 1,3052 \cdot \log[0,0785 \cdot (D^2_{0,50} + D^2_{0,70})]$.

SILVA, STEVE MCQUEEN FERNANDO SOUZA DE. COMPARISON AMONG REGIONAL VOLUMETRIC EQUATIONS AND EQUATIONS BASED ON THE VOLUMES OF THE FIRST LOG IN CLONES OF EUCALYPTUS AT CHAPADA DO ARARIPE-PE, 2008. Adviser: José Antônio Aleixo da Silva. Co-adviser: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

ABSTRACT

This work had as main objective to test and to compare regional volumetric equations with equations based on volumes of different sections of the first log of the tree in clones of *Eucalyptus* in the Region of Chapada do Araripe - PE. The experiment was conducted in the Experimental Station of the Pernambuco Company of Agricultural Research - IPA, located in Araripina, in the Semi-arid of Pernambuco, with geographical coordinates of position 07°29'00' S and 40°36'00' W with altitude of 816 meters. The predominant regional climate is of the type BShw' of Koppen, hot and dry of low latitudes, with summer rains. The data base used was composed by twenty two trees of each fifteen clones of the experiment, with a total of 330 trees. The fifteen clones of *Eucalyptus* are resulting of species and hybrid of natural crossing and controlled pollination (*Eucalyptus urophylla*; *Eucalyptus tereticornis*; Hybrid of *E. urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita*; Hybrid of *E. urophylla* x *E. tereticornis*; and *Eucalyptus brassiana*). The volume of the sample trees were determined by the method of Smalian. After, it was adjusted classic models of the forest literature: Spurr, Schumacher-Hall, Comprehensive, Naslund and Silva. Such models were compared through the coefficient of determination, standard error of the estimate, residual graphic distributions and easiness of application of the equations. The test of Skott-Knott was applied to verify if there was volumetric differences among the clones. It indicated the existence of two groups of clones (A and B). The Stepwise procedure was applied in the equations to select and to reject independent variables of the models. As there were not significant differences among the resulting equations, the equation of Silva was selected as the most suitable to estimate volumes of the clones of *Eucalyptus* in the Region of Chapada do Araripe-PE, because it not necessary to measure the height of the trees in the field. The statistics for both groups were: Group A, $R^2_{aj} = 93,8\%$; $S_{xy} = 0,0076$; $CV = 8,49\%$. Group B: $R^2_{aj} = 95,5\%$; $S_{xy} = 0,0061$; $CV = 9,10\%$, with the following equations: (Group A) $\log V_i = 3,2709 + 0,3412 \cdot \log[0,4712 \cdot (D^2_{0,30} + D^2_{1,50})] - 0,2069 \cdot \log[0,0785 \cdot (D^2_{0,90} + D^2_{1,10})] + 0,9981 \cdot \log[0,1571 \cdot (D^2_{1,30} + D^2_{1,70})]$. (Group B) $\log V_i = 1,2545 - 2,0618 \cdot \log[0,0785 \cdot (D^2_{0,30} + D^2_{0,50})] + 1,9019 \cdot \log[0,4712 \cdot (D^2_{0,30} + D^2_{1,50})] + 1,3052 \cdot \log[0,0785 \cdot (D^2_{0,50} + D^2_{0,70})]$.

1. INTRODUÇÃO

O bioma caatinga, onde está localizado o Pólo Gesseiro do Araripe-PE, vem sofrendo grande pressão, direta e indiretamente ao longo do tempo. Este fato se deve, principalmente, a crescente demanda por recursos naturais renováveis, aumentando gradativamente a sua degradação, tanto a nível domiciliar, com a utilização da lenha e o carvão vegetal para cocção de alimentos, como à nível industrial e comercial, com a utilização da madeira para produção do gesso.

O Pólo Gesseiro de Pernambuco fica na microrregião de Araripina, semi-árido Pernambucano, abrangendo 10 municípios e sendo responsável por 95% do gesso industrializado no Brasil (ALBUQUERQUE, 2002). O setor industrial é formado por um total de 26 mineradoras, 72 calcinadoras e 234 fábricas de pré-moldados, responsável pelo maior consumo de biomassa vegetal, cerca de 65% do total da vegetação da região (GEOPHOTO, 2005). Esse material é utilizado como fonte energética (lenha) para o processo denominado calcinação, o qual tem a gipsita como matéria prima e o gesso como produto final.

A vegetação natural da caatinga vem sofrendo grande pressão antrópica, sendo explorada de forma desordenada e se fazendo presente em boa parte dos recursos florestais na região, caracterizando-se pela ausência de critérios técnicos no corte da vegetação e conseqüentemente, pondo em risco a extinção de várias espécies vegetais e animais (RIBEIRO et al., 2001). Portanto, medidas mitigadoras devem ser tomadas para evitar esse cenário.

Uma alternativa, econômica e ambientalmente viável, é a implantação e o manejo sustentado de povoamentos florestais nativos ou o reflorestamento com florestas de rápido crescimento, com destaque para os *Eucalyptus* por sua versatilidade. Considerado como espécie de rápido crescimento, o *Eucalyptus* veio contribuir no sentido de reduzir a devastação das florestas nativas remanescentes (BAENA, 2005).

O módulo de experimentação florestal para o Pólo Gesseiro do Araripe, instalado na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) na Chapada do Araripe-PE, foi implantado em 2002, com vários clones do gênero *Eucalyptus*. Visando atender a carência de informações, este experimento servirá de base para o aprofundamento na seleção de clones de

Eucalyptus na região, através de estudos de modelagem de crescimento, mortalidade, sobrevivência e volumetria.

Os estudos da volumetria em plantios de *Eucalyptus*, nessa região, podem possibilitar decisões importantes para a economia local. Cabe ao manejador e/ou pesquisador, uma administração adequada do potencial produtivo de povoamentos, por intermédio da utilização de modelos volumétricos. Entre os mais variados modelos, destacam-se os de Spurr, Schumacher-Hall, Compreensiva, Naslund e Silva (SCHUMACHER e HALL, 1933; SPURR, 1952; MEYER, 1953; SILVA et al., 1993).

Com isso, pretende-se utilizar a prática do manejo florestal sustentado, para promover o melhor uso do recurso florestal, quantificando-o com equações de altas precisões e que utilizem variáveis independentes de fácil e rápida medição, que implicam em baixos custos no inventário florestal.

Dessa forma, objetivou-se testar e selecionar equação(ões) volumétrica(s) mais precisas e eficientes na estimativa de volume em árvores de *Eucalyptus* na região da Chapada do Araripe-PE.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O *Eucalyptus*

A disseminação de sementes de *Eucalyptus* no mundo começou no início do século XIX, na América do Sul. O primeiro país a produzi-lo foi o Chile em 1823, e, posteriormente, a Argentina e o Uruguai. No Brasil, as primeiras mudas chegaram em 1824, e foram plantadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, criado em 1808 por D. João VI. O plantio experimental foi iniciado pelo trabalho pioneiro da Companhia Paulista de Vias Férreas e Fluviais, na pessoa de Navarro de Andrade, no Horto Florestal, localizado em Jundiaí (ANDRADE, 1911; HASSE, 2006).

Historicamente, a madeira do *Eucalyptus* presta-se para os mais variados fins, tais como, dormentes ferroviários, lenha para alimentar as locomotivas da época, postes para eletrificação, casca para curtir couro, óleos essenciais e construção civil (ANDRADE, 1911; LIMA, 1993). Hoje, o Brasil, se configura como um dos maiores produtores de *Eucalyptus* no mundo.

Entre as diversas espécies exóticas plantadas no Brasil, a que mais obteve sucesso foi as do gênero *Eucalyptus*. Existem, aproximadamente, mais de 700 espécies identificadas, pertencentes à família *Myrtaceae*, sub-família *Leptospermoideae*. São originárias da Austrália, Tasmânia e Indonésia, apresentando uma variação latitudinal de ocorrência de 7° Norte à 43°39' Sul. Formam densas florestas variando de arbustos a gigantes árvores, adaptadas, praticamente, a todo tipo de solo e clima. Possui folhas de disposições alternas ou opostas e às vezes cruzadas com estípulas muito pequenas (ANDRADE, 1911; SCARPINELLA, 2002).

As plantações têm sido formadas nas mais variadas condições ambientais, desde regiões tropicais equatoriais até condições subtropicais e semi-áridas, em condições climáticas que variam de mediterrânea a temperada, e em elevações que variam desde o nível do mar até mais ou menos 4000 metros de altitude nas regiões dos Andes (LIMA, 1993).

A principal razão da grande aceitação dessa essência florestal é a elevada taxa de crescimento, a facilidade de reprodução, a rusticidade, o altíssimo nível de melhoramento genético em produtividade e qualidade da madeira e as técnicas aprimoradas de formação de mudas, plantio, manejo e exploração. Devido a esses

grandes avanços científicos e tecnológicos nessa cultura, a silvicultura brasileira destaca-se como uma das mais avançadas do mundo (BAENA, 2005).

No Brasil, o setor florestal obteve um grande aumento na produção, na melhoria da qualidade e na homogeneização da matéria prima utilizada pela indústria, devido à utilização de pesquisas avançadas com clones para a formação de florestas (BERGER et al., 2000).

Segundo Ferreira (1992), a origem da silvicultura clonal esteve diretamente, ligada ao programa de incentivos fiscais no ano de 1966, como incentivo do Governo Federal do Brasil. No ano de 1970, o rendimento volumétrico médio das plantações *E. grandis* estava entre 17m³/ha/ano a 30 m³/ha/ano. O aumento produtivo que elevou o rendimento, para 30 a 50 m³/ha/ano, foi devido à procedência das sementes que vieram da Austrália. A partir desses resultados, intensificaram-se os estudos de seleção de espécies/procedência em cooperação com a FAO. Na atualidade, a produtividade média dos plantios de *Eucalyptus* é em torno de 40 m³/ha/ano (SBS, 2006).

No ano de 2005 o Brasil possuía 5,6 milhões de hectares, sendo 3,4 milhões de hectares com *Eucalyptus*, 1,8 milhão de hectares com pinus e 326 mil hectares de outras espécies, como acácia-negra, gmelina, pópulus, seringueira, teca e araucária. Em 2006, houve o acréscimo de 627.000 hectares de florestas para fins de produção. A maior parte das florestas situam-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (no Sul da Bahia) (SBS, 2006). Estima-se que, hoje em dia, a área plantada de *Eucalyptus*, no Brasil, esteja em torno de 4 milhões de hectares.

2.2 Planejamento florestal

O reflorestamento em pequenas, médias e grandes propriedades rurais é de interesse público, por ser uma fonte de renda e contribui para evitar o êxodo rural, o desemprego e, simultaneamente, possibilitar inúmeros e imprescindíveis benefícios ambientais. A predição da produção de madeira do reflorestamento é fundamental para o planejamento das atividades florestais, constituindo-se em um dos elementos principais do manejo florestal (DAVIS e JOHNSON, 1987; GALVÃO, 2000).

Para ter êxito no reflorestamento, deve-se seguir um planejamento florestal, no qual são necessárias as informações sobre o crescimento e a produtividade dos povoamentos florestais (RIBEIRO et al., 2001).

A previsão do crescimento de uma floresta, através de curvas de projeção do desenvolvimento em diâmetro, altura e volume, é a condição básica em qualquer processo de planejamento racional, uma vez que essas curvas são importantes para o planejamento da produção, através da determinação da idade ótima e econômica de corte; bem como para o planejamento e a pesquisa silvicultural, que permitem agrupar espécies e procedências, e para analisar eficientemente os experimentos florestais, entre outros (BERGER et al., 2000).

O cuidado na obtenção das informações, no caso do volume, deve ser tomado, porque os erros podem ocasionar sérios problemas, uma vez que as estimativas são, geralmente, utilizadas quando se trata de negociações de serviços, ou venda de madeira em pé, com base no inventário florestal (TONINI, 2004).

2.3 Cubagem rigorosa

A atividade de cubagem rigorosa do volume é feita em separado das medições das unidades amostrais, o que gera aumento no custo do inventário. Este é o método direto mais utilizado na rotina de inventários florestais e consiste na medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco, dividindo-o em seções que variam de comprimento de acordo com o medidor (LEITE e ANDRADE, 2002).

O número de árvores abatidas na cubagem varia de acordo com a área plantada e com a variabilidade, intraespecífica e interespecífica, das espécies do reflorestamento. Diversos autores como Silva (1977), Silva e Borders (1993), Silva et al. (1993), Ribeiro et al. (2001), Tonini e Borsoi (2001), Tonini, (2004) e Thiersch et al. (2006), utilizaram um número variado de árvores que foram de 3353, 973, 120, 201, 97, 240 e 216, respectivamente, para obterem equações volumétricas com boa precisão. Segundo Meyer (1953) *apud* Silva (1977) e Santana e Imana-Encimas, (2004), cerca de cinquenta a duzentas árvores, por espécie, permitem estimativas volumétricas confiáveis.

2.4 Modelagem do volume

Os modelos volumétricos ajustados para povoamentos florestais, são classificados como modelos de produção, estão sendo utilizados com frequência

para estimar a produção volumétrica total ou comercial, por unidade de área (DAVIS e JOHNSON, 1987).

O modelo pode ser definido como uma formulação matemática que se baseia em hipóteses que tentam representar fenômenos físicos ou sistemas biológicos, sendo capaz de formar uma equação que possa representar tal(is) fenômeno(s) a um determinado nível de confiabilidade α (MARTINS et al., 2007).

Os modelos de regressão linear são aplicados para estimar volumes de árvores individuais. Nesses modelos, simples ou múltiplos, os requisitos de normalidade de erros, de independência nas observações e de variância constante são usualmente assumidos (CLUTTER et al., 1983; SILVA e BAILEY, 1991).

Segundo Martins et al. (2007) o modelo é a forma analítica proveniente de equações diferenciais, composta de variáveis dependentes e independentes, parâmetros e um erro associado. Este erro existe quando se trata de modelos probabilísticos, por exemplo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_n X_{ni} + \xi_i$$

Em que:

Y = variável resposta;

X = variáveis independentes;

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ = parâmetros do modelo;

ξ = erro aleatório.

A representação numérica do modelo é a equação, ou seja, é o resultado final do ajuste do modelo ao conjunto de dados. Portanto, é a estimativa do modelo composta de coeficientes.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_n X_n$$

Em que:

Yi = estimativa da variável resposta;

b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes.

Assim, as equações podem ser usadas para imediato cálculo do volume. O emprego da equação volumétrica, na qual os parâmetros são estimados por regressão, é amplamente utilizado na estimativa e prognose da produção madeireira e constitui um procedimento eficiente para a quantificação da produção em volume de um povoamento florestal (McTAGUE et al., 1989; SANTANA e IMANA-ENCINAS, 2004).

Existem três tipos de equações volumétricas: simples entrada ou local que usa, unicamente, o diâmetro a altura do peito (DAP) ou a circunferência a altura do peito (CAP) como variável independente; as de dupla entrada ou regionais, que usam o (DAP) ou (CAP) com a altura da árvore e são as mais utilizadas; e as formais, que além do DAP ou CAP e altura, incluem também a forma da árvore como variável independente (SILVA, 1977)

Em se tratando de modelagem volumétrica, as estimativas de produtividade florestal no Brasil podem ser consultadas nos trabalhos de Silva (1977); Mctague et al. (1989); Schneider (1998); Soares et al. (2001); Assis et al. (2004); Tonini (2004) e Thiersch et al. (2006).

2.4.1 Modelos clássicos

Na literatura florestal, existem vários modelos volumétricos que têm se tornado uma ferramenta cada vez mais importante dentro dos empreendimentos de base florestal. Esses modelos resultam em uma ferramenta especial: as equações, que são capazes de prognosticar o crescimento e a produção sob certas condições (SPATHELF e NUTTO, 2000; SOARES et al, 2001).

Os modelos mais clássicos são de o Schumacher e Hall (1933) e o de Spurr (1952). Eles descrevem os processos relacionados ao crescimento das árvores até a estimativa volumétrica de povoamentos florestais, baseando-se em equações ou sistemas de equações volumétricas que têm como variáveis independentes o (DAP) e a altura da árvore (H), entre outras (MACHADO et al., 2002; ASSIS et al. 2004; SANTANA et al., 2005).

2.4.2 Modelo dos diâmetros na primeira tora

Modelos volumétricos que dispensam a medição da altura total da árvore e incluem como variáveis independentes os diâmetros em várias posições da primeira tora da árvore, podem ser consultados nos trabalhos de Silva e Borders (1993), Lynch (1995) e Ribeiro et al. (2001).

Segundo os autores, a vantagem de utilizar várias posições na primeira tora da árvore é não precisar da variável altura, que é de difícil medição no povoamento florestal. Em função da facilidade da medição de diâmetros, o número de árvores

medidas pode ser maior em certo espaço de tempo, facilitando com isso o trabalho de inventário florestal e reduzindo os custos operacionais pela atividade em campo.

2.5 Volume da árvore

Segundo Pellico Netto (2004), a volumetria baseada na metodologia matemática trata, fundamentalmente, de uma avaliação de subconjuntos (volume comercial e total) para se obter o volume de madeira em uma unidade de área, geralmente, um hectare. Primeiramente, consideram-se as árvores de uma espécie, depois se pode formar um subconjunto com espécies que apresentam similaridades de forma e tamanho, e assim por diante.

A forma de cada árvore, geralmente, é semelhante a uma forma geométrica que na literatura florestal recebe o nome de protótipo dendrométrico (Figura1). Entre eles, os mais comuns são: cilindro, neilóide, parabolóide e cone (GOMES, 1957; SILVA e PAULA-NETO, 1979).

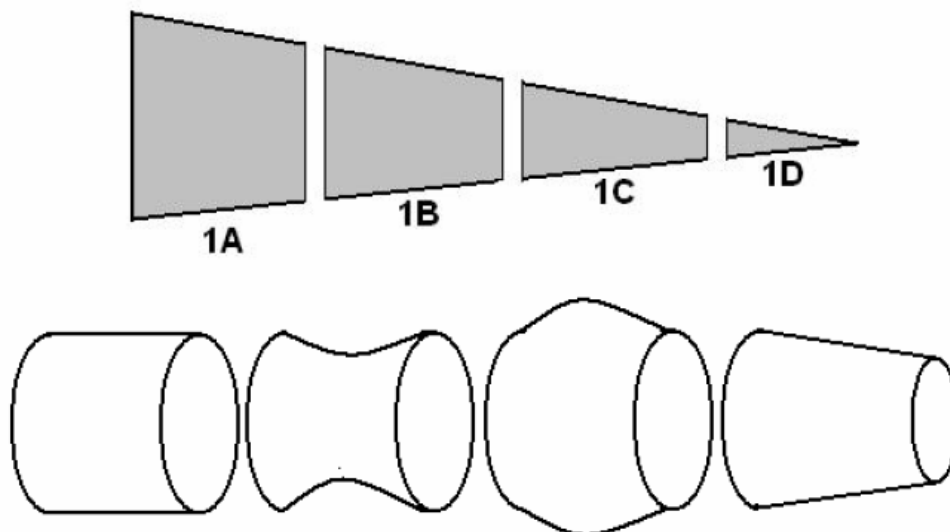


Figura 1. Protótipos dendrométricos da árvore, em que 1A – cilindro; 1B – neilóide; 1C – parabolóide e 1D – cone.

O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal, haja vista que o volume individual fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo da floresta (THOMAS et al., 2006).

Para determinar o volume individual de árvores, podem-se usar métodos como o do xilômetro que é a técnica do deslocamento da água, o único que fornece o valor real do volume, ou seja, o volume verdadeiro. O uso de fórmulas matemáticas como as de Huber, Smallian e Newton, que são as mais usadas na ciência florestal, estimam o valor paramétrico do volume (MACHADO et al., 2006).

Segundo Clutter et al. (1983), o volume do tronco (V) é, usualmente, considerado uma função do diâmetro a 1,30 m do nível do terreno (DAP), uma altura (H) e uma expressão de forma (F), estimada pela razão entre o volume do tronco e o volume de um cilindro, que tem diâmetro igual ao DAP e altura igual à altura total da árvore, sendo a relação envolvida representada por: $V = f(\text{DAP}, H, F)$.

As fórmulas de Huber, Smaliam e Newton são expressas por:

- Formula de Huber:

$$V = g_{\frac{1}{2}} \cdot l$$

- Formula de Smallian:

$$V = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l$$

- Formula de Newton:

$$V = \frac{1}{6} l \left(g_1 + 4g_{\frac{1}{2}} + g_2 \right)$$

Em que:

- V = volume da seção, em m³;
- g_i = área seccional da secção i, em m²;
- l = comprimento da seção, em m.

Os volumes estimados utilizando as fórmulas não são exatos, pois as variáveis independentes são obtidas em uma série de indivíduos medidos no povoamento, que estão sujeitos às variações naturais não controladas. Desta forma, deve-se admitir que as relações volumétricas possibilitem a estimativa de volumes

médios em torno dos quais devem se distribuir os volumes verdadeiros (FINGER, 1992; SILVA et al., 1993).

Loestch et al (1973), determinando volumes de árvores pelas fórmulas de Newton, Smalian e Huber comparado-as com o xilômetro, concluíram que a média percentual de erros foi em torno de zero para a fórmula de Newton; 9% para a fórmula de Smalian; e -3,5% para a fórmula de Huber. Para toras menores que 1,2 m, não houve diferença significativa entre os erros, para as três fórmulas. Segundo Machado et al. (2006), a fórmula de Smalian apresenta as piores estimativas quando combinada com comprimento de seções grandes, porém, o mesmo não acontece para seções de comprimentos menores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de coleta dos dados

O experimento (Figura 2) se encontra instalado na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, localizada no Município de Araripina, no Semi-árido de Pernambuco, com coordenadas geográficas de posição 07°29'00' S e 40°36'00' W e altitude de 816 metros. O clima regional predominante é do tipo BShw' de Köppen, quente e seco das baixas latitudes, com chuvas de verão. A presença da chapada confere uma diferenciação no clima regional, elevando a pluviometria, registrando cerca de 735 mm anuais. A temperatura média é 24,6° C, a máxima é de 33° C e a mínima de 15,9° C, com cerca de 2°C de amplitude térmica. O solo é do tipo latossolo vermelho-amarelo (ENCARNAÇÃO, 1980; ARAUJO, 2004).

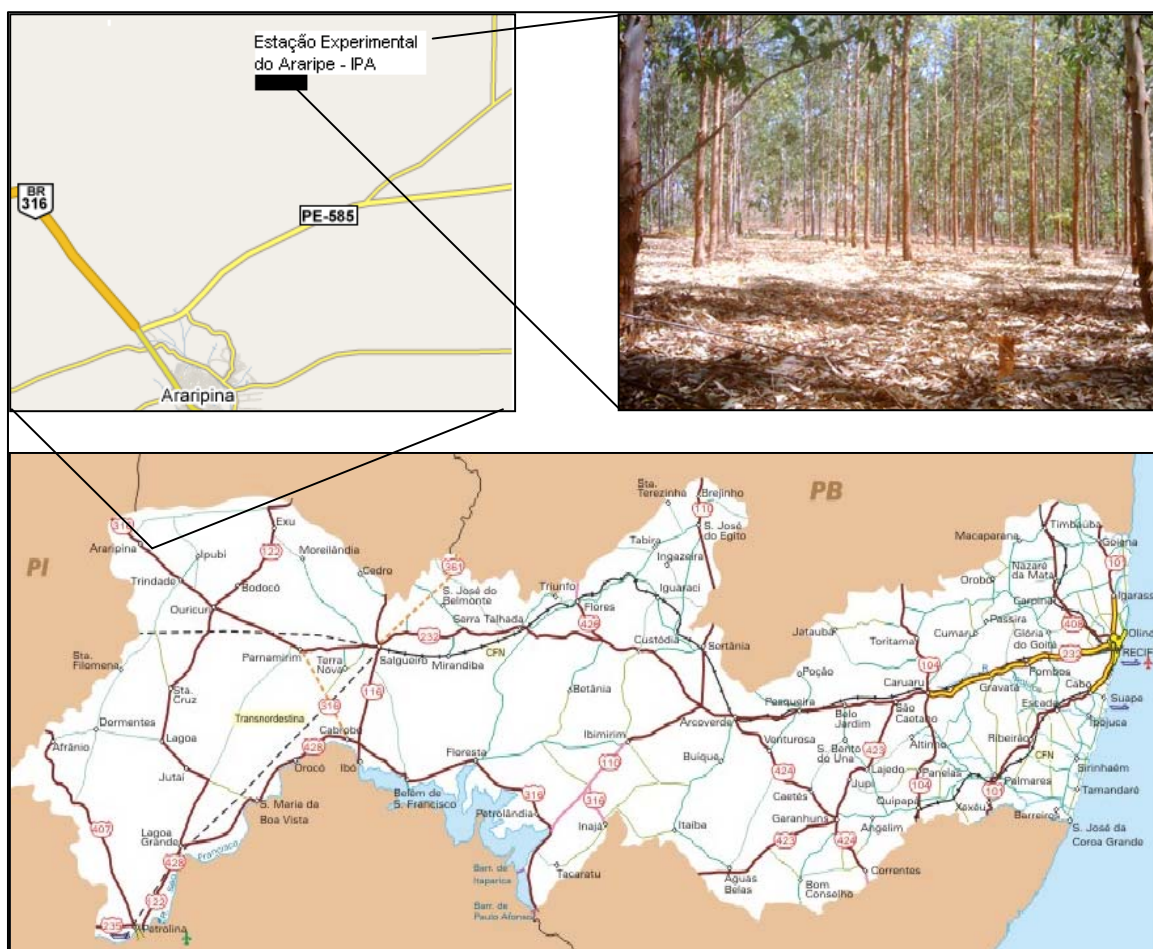


Figura 2. Área experimental, de *Eucalyptus* spp. e híbridos, localizada na Estação Experimental do Araripe (IPA), em Araripina - PE.

O experimento intitulado Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, foi implantado em março de 2002, em uma área de 2,352 ha, contendo 15 (quinze) clones, entre híbridos e espécies do gênero *Eucalyptus*, constituindo os tratamentos (tabela 1), sendo utilizadas quatro repetições, em que cada uma possuía 15 clones, com 49 árvores por parcela, plantadas no espaçamento 3 x 2 m.

Tabela 1. Clones de *Eucalyptus* usados Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Trat.	Clones	Descrição
01	C49	<i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)
02	C80	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)
03	C315	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)
04	C101	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)
05	C78	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)
06	C156	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)
07	C39	<i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)
08	C27	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)
09	C51	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)
10	C158	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)
11	C41	<i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)
12	C31	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)
13	C25	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)
14	C33	<i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)
15	C11	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)

As mudas dos clones de *Eucalyptus* foram provenientes da Comercial Agrícola Paineiras LTDA, localizada no município de Urbano Santos, no Estado do Maranhão.

3.2 Seleção das árvores

Para o presente estudo, foram utilizadas 330 árvores do experimento, sendo 22 por tratamento. As árvores possuíam um DAP mínimo de 5 cm e uma altura mínima de 8 m e foram distribuídas em 6 classes de diâmetro e 5 classes de altura, (Tabela 2), em uma seleção baseada na amostragem inteiramente aleatória. Todas as árvores amostradas possuíam idades variando entre 48 a 64 meses.

Tabela 2. Distribuição das árvores amostradas, por classe de diâmetro e de altura, em inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Classes de DAP (cm)	Classes de altura (m)					Total
	8,0 9,9	9,9 11,9	11,9 13,9	13,9 15,9	15,9 17,9	
5,0 6,9	1	3				4
6,9 8,9	5	26	23			54
8,9 10,9		43	97	28	1	169
10,9 12,9	1		29	46	5	81
12,9 14,9			1	6	9	16
14,9 16,9			1		5	6
Total	7	72	151	80	20	330

3.3 Cubagem das árvores amostras

As 330 árvores amostras foram derrubadas e seccionadas com motosserra, para se proceder à cubagem rigorosa das mesmas na área do povoamento.

Nas árvores derrubadas, foram medidas a altura total, a altura do fuste e as circunferências a 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,10; 1,30; 1,50; 1,70; 2,30 m; e, daí por diante, de 1,00 m em 1,00 m até o final da árvore. As alturas foram medidas com auxílio da trena graduada com aproximação em centímetros. As circunferências foram tomadas com a fita métrica, graduada em centímetro com aproximação em milímetro, conforme o procedimento descrito por SILVA (1977).

Devido à facilidade dos cálculos e rapidez na medição das pequenas seções, a fórmula de Smalian (LOESTCH et al., 1973), foi empregada, para calcular o volume rigoroso total e o volume das seções.

3.4 Análises estatísticas

Antes do ajuste dos modelos volumétricos, realizou-se uma análise da variância (ANOVA), nos clones, com a finalidade de constatar ou não diferenças volumétricas significativas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatório com 22 repetições por clone (tratamento) e o erro amostral considerado foi o de 10% (SILVA e SILVA, 1982; MEUNIER et al., 2001).

Para comparação de médias, foi aplicado o teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade para agrupar os clones que apresentaram volumes comerciais médios semelhantes, assim como os tratamentos semelhantes.

Logo depois de selecionadas as equações para os dois grupos, realizaram-se duas análises estatísticas, ainda considerando um delineamento inteiramente aleatório, para verificar diferenças significativas entre as equações nas estimativas dos volumes para cada grupo de clones, a 1% de probabilidade, o grupo A com 616 dados (7 tratamentos com 88 dados volumétricos) e o grupo B com 1694 dados, (7 tratamentos com 242 dados volumétricos). A descrição dos tratamentos foi: T0 – testemunha (volume real); T1 – Volume da equação 1; T2 – Volume da equação 2; T3 – Volume da equação 3; T4 – Volume da equação 4; T5 – Volume da equação 5 e T6 – Volume da equação 6.

O modelo experimental utilizado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = variável resposta (volume em m³);

μ = média geral;

α = efeito do i-ésimo tratamento na k-ésima repetição;

ξ_{ijk} = erro aleatório associado a i-ésimo tratamento na k-ésima repetição.

As hipóteses testadas na ANOVA foram as seguintes:

- H_0 : não existe diferença significativa entre os volumes médios dos sete tratamentos;
- H_a : existe diferença significativa entre os volumes médios dos sete tratamentos.

Os programas SYSTAT 5.0 versão Demo (WILKISON, 1990), ASSISTAT versão 7.4 beta (2007) e o Software Microsoft® Office Excel, versão 2005 for Windows® foram utilizados no processamento dos dados e na elaboração das figuras, planilhas e tabelas.

3.5 Modelos volumétricos

Neste estudo foram considerados seis modelos volumétricos, logo após o agrupamento dos clones de *Eucalyptus* realizado pelo teste de Scott-knott, sendo cinco lineares e um não linear (Tabela 3).

Tabela 3. Modelos ajustados para estimar o volume das árvores de *Eucalyptus*, em experimento realizado na Estação Experimental do Araripe (IPA) em Araripina-PE.

Número	Modelo	Autor
1	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i^2 H_i + \xi_i$	Spurr
2	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i + \beta_2 DAP_i H_i + \beta_3 DAP_i^2 + \beta_4 H_i + \beta_5 DAP_i^2 H_i + \xi_i$	Compreensiva
3	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i^2 + \beta_2 DAP_i^2 H_i + \beta_3 H_i^2 + \beta_4 DAP_i H_i^2 + \xi_i$	Näslund
4	$\log V_i = \beta_0 + \beta_1 \log VS_1 + \dots + \beta_n \log VS_n + \xi_i$	Silva (logarítmica)
5	$V_i = \beta_0 DAP_i^{\beta_1} H_i^{\beta_2} \xi_i$	Schumaker-Hall
6	$V_i = \beta_0 + \beta_1 VS_i + \dots + \beta_n VS_n + \xi_i$	Silva

Em que: V_i = volume individual (m^3); VS_i = volume da seção i , i variando de 1 à 28; H_i = altura da árvore (m); DAP_i = diâmetro à altura do peito; β_0 e β_n = parâmetros dos modelos, n variando de 1 à 28; ξ_i = erro aleatório.

O procedimento Stepwise (DRAPER e SMITH, 1981) foi aplicado nos modelos lineares: compreensiva, Naslund e Silva, que utilizam mais de uma variável independente. Sendo que no modelo de Silva, consideraram-se as 28 variações de tamanhos de seções medidas no intervalo de 0,30 m a 1,70 m (Tabela 4). No teste de seleção das variáveis independentes, usou-se um nível de probabilidade de F inferior a 1%.

Tabela 4. Vinte e oito combinações de secções da primeira tora, utilizadas na avaliação dos volumes de árvores de *Eucalyptus*, em inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Secção	Intervalo do tronco (m)	Comprimento (m)	Secção	Intervalo do tronco (m)	Comprimento (m)
01	0,30 a 0,50;	0,2	15	0,70 a 1,10;	0,4
02	0,30 a 0,70;	0,4	16	0,70 a 1,30;	0,6
03	0,30 a 0,90;	0,6	17	0,70 a 1,50;	0,8
04	0,30 a 1,10;	0,8	18	0,70 a 1,70;	1,0
05	0,30 a 1,30;	1,0	19	0,90 a 1,10;	0,2
06	0,30 a 1,50;	1,2	20	0,90 a 1,30;	0,4
07	0,30 a 1,70;	1,4	21	0,90 a 1,50;	0,6
08	0,50 a 0,70;	0,2	22	0,90 a 1,70;	0,8
09	0,50 a 0,90;	0,4	23	1,10 a 1,30;	0,2
10	0,50 a 1,10;	0,6	24	1,10 a 1,50;	0,4
11	0,50 a 1,30;	0,8	25	1,10 a 1,70;	0,6
12	0,50 a 1,50;	1,0	26	1,30 a 1,50;	0,2
13	0,50 a 1,70;	1,2	27	1,30 a 1,70;	0,4
14	0,70 a 0,90;	0,2	28	1,50 a 1,70;	0,2

3.6 Escolha do modelo matemático

Segundo Silva (1977) a equação seleccionada deve possuir poucas variáveis independentes que sejam de fácil mensuração, com baixa correlação entre si.

Assim, foram adotados, alguns critérios de seleção da melhor equação.

3.6.1 Coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação, para regressão simples (r^2) e múltipla (R^2), expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão. Mas, esses valores, não são diretamente comparáveis para número diferente de parâmetros, sendo necessário utilizar o coeficiente de determinação ajustado (SILVA e BAILEY, 1991; PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 1993), e que são calculados por:

$$R^2 = \frac{b_1 \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)(Y_i - \hat{Y}_i)}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)} = \frac{SQR}{SQT}$$

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{(n-1)}{(n-p-1)} \cdot (1 - R^2)$$

Em que:

- b_i = coeficiente da equação;
- X_i = variáveis independentes;
- \hat{X}_i = valores estimados das variáveis independentes;
- Y_i = volume real da árvore em m^3 ;
- \hat{Y}_i = valor estimado da árvore em m^3 ;
- SQR = soma de quadrados da regressão
- SQT = soma de quadrados total.
- n = número observações
- p = número de variáveis independentes
- R^2 = coeficiente de determinação
- R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado

3.6.2 Análise gráfica do resíduo

Conforme Schneider (1998) e Menon (2006), a análise gráfica dos resíduos, embora visual, possibilita a verificação do ajuste do modelo através da distribuição dos dados observados ou estimados ao longo da linha de regressão, mostrando sua tendenciosidade ou não, permitindo assim, decidir se a equação utilizada é realmente apropriada. Desse modo, o resíduo é expresso por:

$$E\% = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \times 100$$

Em que:

- Y_i = volume real da árvore em m^3 ;
- \hat{Y}_i = valor estimado da árvore em m^3 ;
- E = resíduo em porcentagem.

3.6.3 Erro padrão da estimativa

É uma medida que expressa a dispersão entre valores observados e estimados pela regressão. Deve ser utilizada como comparador entre várias equações com variáveis dependentes de mesma unidade, e quando comparados entre equações, será escolhida a que apresentar o menor valor (SCHNEIDER, 1998; THOMAS et al, 2006). O erro padrão da estimativa é expresso por:

$$S_{xy} = \sqrt{QM_{RES}}$$

Em que:

QMres = quadrado médio do resíduo;
S_{xy} = erro padrão da estimativa.

3.6.4 Coeficiente de variação

Segundo Silva e Silva (1982) e Meunier (2001), com base no coeficiente de variação (CV) evidencia-se a distribuição dos dados em porcentagem da média, permite avaliar com facilidade as condições de homogeneidade e heterogeneidade dos dados observados, e também compara a variabilidade em situações distintas ou entre diferentes variáveis, sendo expresso por:

$$CV = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \times 100$$

Em que:

\bar{Y} = média dos volumes reais observados;
CV = coeficiente de variação;
S_{xy} = erro padrão da estimativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) verificou a existência de diferenças significativas entre os volumes médios dos clones de espécies e híbridos de *Eucalyptus* spp., observado pelo teste F a 1% de probabilidade (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da ANOVA para a variável volume nos clones de *Eucalyptus* em experimento instalado na região do Pólo Gesseiro do Araripe, em Araripina-PE.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	14	0,04658686	0,00332763	4,2101**
Resíduo	315	0,24897403	0,00079039	
Total	329	0,29556089		

Em que: FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, SQ = soma dos quadrados, QM = quadrado médio e F = teste de F.

A partir daí, para encontrar a diferença entre os tratamentos, foi aplicado o teste de Scott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974) a 5% de probabilidade, que constatou a formação de dois grupos com volumes médios semelhantes: o grupo A com os tratamentos 5, 7, 11 e 15, totalizando (88 árvores) e o grupo B com os tratamentos 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13 e 14, totalizando (242 árvores). A ordem decrescente dos tratamentos em relação à média volumétrica por árvore encontra-se expressa na Tabela 6.

O procedimento Stepwise (DRAPER e SMITH, 1981) aplicado nos modelos lineares (Compreensiva, Naslund e Silva) que possuem mais de uma variável independente (2, 3, 4 e 6) nos dois grupos A e B, demonstrou o seguinte resultado: no grupo (A), o modelo 2 (Compreensiva) que possuía cinco variáveis independentes foi reduzido para três, permanecendo as variáveis DAP, DAPH e H. O modelo 3 (Naslund) que possuía quatro variáveis independentes foi reduzido para três, que foram DAP^2 , H e $DAPH^2$. O modelo 4 e o modelo 6 (Silva) que possuíam, ambos, vinte e oito seções ou combinações da primeira tora, como variáveis independentes, foram reduzidas à apenas três seções (06, 19 e 27), que corresponde a seis medidas de diâmetro (tabela 7).

Tabela 6. Resultado do teste de Scott-Knott para a média dos volumes dos quinze clones do gênero *Eucalyptus*, no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Trat.	Descrição	N	Volume (m ³)	
11	<i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)	22	0,09566	a
15	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)	22	0,09143	a
5	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)	22	0,09003	a
7	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)	22	0,08177	a
6	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)	22	0,07442	b
14	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)	22	0,07283	b
10	<i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	22	0,07098	b
1	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	22	0,06976	b
13	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)	22	0,06760	b
9	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> (polinização controlada)	22	0,06654	b
4	<i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	22	0,06370	b
12	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	22	0,06191	b
8	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	22	0,05892	b
3	<i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	22	0,05891	b
2	<i>Eucalyptus brassiana</i> (cruzamento natural)	22	0,05819	b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7. Resultado do procedimento Stepwise, para os clones de *Eucalyptus* selecionados no grupo A, nos modelos utilizados para avaliação do experimento intitulado Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Nº	Modelo	
	Antes	Depois
1	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \epsilon$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \epsilon$
2	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAPH + \beta_3 DAP^2 - \beta_4 H + \beta_5 DAP^2 H + \epsilon$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAPH + \beta_3 H + \epsilon$
3	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H^2 - \beta_4 DAPH^2 + \epsilon$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_1 H^2 + \beta_3 DAPH^2 + \epsilon$
4	$\log V_i = \beta_0 + \beta_1 \log VS_1 + \dots + \beta_n \log VS_n$	$\log V_i = \beta_0 + \beta_1 \log[0,471239(D_{0,30}^2 + D_{1,50}^2)] + \beta_2 \log[0,078539(D_{0,90}^2 + D_{1,10}^2)] + \beta_3 \log[0,157080(D_{1,30}^2 + D_{1,70}^2)]$
5	$V_i = \beta_0 DAP^{\beta_1} H^{\beta_2}$	$V_i = \beta_0 DAP^{\beta_1} H^{\beta_2}$
6	$V_i = \beta_0 + \beta_1 VS_i + \dots + \beta_n VS_n$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 [0,471239(D_{0,30}^2 + D_{1,50}^2)] + \beta_2 [0,078539(D_{0,90}^2 + D_{1,10}^2)] + \beta_3 [0,157080(D_{1,30}^2 + D_{1,70}^2)]$

Em que: DAP = diâmetro a 1,3m; H = altura da árvore, em m; VS_i = volume da seção i, em m³; V_i = volume estimado em m³; β₀ e β_n = parâmetros dos modelos, n variando de 1 à 28.

No grupo (B), no modelo 2 (Compreensiva) houve a saída da variável DAP^2H , no modelo 3 (Naslund), a variável independente que saiu foi o DAP^2 , e nos modelos 4 e 6, as seções da primeira tora foram três assim como no grupo A, porém houve uma redução nas medidas de diâmetro para quatro (Tabela 8).

Segundo Silva (1977) e Meunier (2001), é recomendável à utilização de poucas variáveis independentes, que sejam altamente correlacionadas com o volume e baixa correlação entre elas. Geralmente, o emprego de mais de quatro variáveis independentes num modelo volumétrico não provoca aumento significativo no coeficiente de determinação.

Tabela 8. Resultado do procedimento Stepwise, para estimativa do volume de clones de *Eucalyptus* selecionados no grupo B, nos modelos utilizados na avaliação do experimento intitulado Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Nº	Modelo	
	Antes	Depois
1	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$
2	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAPH + \beta_3 DAP^2 + \beta_4 H + \beta_5 DAP^2 H + \varepsilon$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAPH + \beta_3 DAP^2 + \beta_4 H + \varepsilon$
3	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H^2 + \beta_4 DAPH^2 + \varepsilon$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \beta_2 H^2 + \beta_3 DAPH^2 + \varepsilon$
4	$\log V_i = \beta_0 + \beta_1 \log VS_1 + \dots + \beta_n \log VS_n$	$\log V_i = \beta_0 + \beta_1 \log[0,078539(D_{0,30}^2 + D_{0,50}^2)] + \beta_2 \log[0,471239(D_{0,30}^2 + D_{1,50}^2)] + \beta_3 \log[0,078539(D_{0,50}^2 + D_{0,70}^2)]$
5	$V_i = \beta_0 DAP^{\beta_1} H^{\beta_2}$	$V_i = \beta_0 DAP^{\beta_1} H^{\beta_2}$
6	$V_i = \beta_0 + \beta_1 VS_i + \dots + \beta_n VS_n$	$V_i = \beta_0 + \beta_1 [0,078539(D_{0,30}^2 + D_{0,50}^2)] + \beta_2 [0,471239(D_{0,30}^2 + D_{1,50}^2)] + \beta_3 [0,078539(D_{0,50}^2 + D_{0,70}^2)]$

Em que: DAP = diâmetro a 1,3m; H = altura da árvore, em m; VS_i = volume da seção i, em m^3 ; V_i = volume estimado em m^3 ; β_0 e β_n = parâmetros dos modelos, n variando de 1 à 28.

4.1 Descrição do Grupo A

4.1.1 Distribuição das árvores no experimento

Após a separação das árvores pelo teste de Scott-Knott, ocorreu uma maior representação dos indivíduos nas classes de diâmetro 8,9 cm a 10,9 cm e 10,9 cm a

12,9 cm, representando cerca de 85,2% do total; e nas classes de altura de 11,9 m a 13,9 m e de 13,9 m a 15,9 m, com uma porcentagem de 82,9% (Tabela 9).

Tabela 9. Distribuição das árvores por classe de diâmetro e de altura para as árvores de *Eucalyptus* spp. pertencentes ao grupo A, no inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Classes de DAP (cm)	Classes de altura (m)					Total
	8,0 9,9	10,0 11,9	12,0 13,9	14,0 15,9	16,0 17,9	
5,0 6,9						0
7,0 8,9			2			2
9,0 10,9		2	21	14		37
11,0 12,9	1		9	24	4	38
13,0 14,9			1	2	5	8
15,0 16,9					3	3
Total	1	2	33	40	12	88

4.1.2 Volume do grupo

Os modelos testados para ajustar as equações de volume obtiveram um valor de F significativo a 1% de probabilidade, variando de 415,30 a 14541,14, indicando bons ajustes dos modelos usados.

Os altos valores do coeficiente de determinação explicam que as variáveis independentes (DAP, H e Volume por seção) são satisfatórias para explicar as variações existentes. De um modo geral, os modelos testados apresentaram excelentes desempenhos com relação aos valores de R^2 variando de 93,5 a 97,3%.

Os baixos valores do coeficiente de variação, que variaram de 5,57 a 8,49%, indicam que sua estimativa é precisa. Thomas et al., (2006) ajustando equações volumétricas em *Pinus Taeda* L. encontrou valores do coeficiente de variação de - 22,41 a 25,13%. Já Silva (1977) utilizou modelos lineares e não lineares em *Eucalyptus* spp. obteve um coeficiente de variação médio de 10,75%.

O erro padrão da estimativa, neste trabalho, obteve uma variação de 0,005 a 0,0076. No trabalho de Silva et al., (1993) que utilizou o método dos diâmetros, o erro padrão da estimativa foi de 0,0034 para *Eucalyptus camaldulensis*. Silva et al.,(2000) trabalhando com *Pinus elliotti* Engelm., obtiveram uma variação de 0,0114 a 0,0251 no erro padrão da estimativa trabalhando com modelos volumétricos.

A equação 6 (Silva) apresentou o coeficiente de variação um pouco abaixo do valor do mesmo coeficiente para equação 4 (Silva), um semelhante valor no erro padrão da estimativa e um menor coeficiente de determinação. Ambas equações utilizaram o volume da seção e obtiveram valores próximos. Semelhante resultado foi encontrado por Silva et al. (1993) trabalhando com *Eucalyptus camaldulensis*, usando o volume da primeira tora na região de Barbalha no Ceará, e obtiveram um $R^2 = 97,3$ e $S_{xy} = 0,0034$.

Os valores encontrados para os coeficientes das equações volumétricas para os clones de *Eucalyptus* spp e híbridos, cultivados na Estação Experimental do IPA, em Araripina-PE, selecionados como do Grupo A, bem como suas estatísticas, encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10. Coeficientes das equações testadas para a estimativa de volume, para o grupo A, no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Eq.	Coeficientes				R ² %	S _{xy}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃				
1	0,00951	0,42216			97,1	0,0052	5,79	14541,14
2	0,08478	-0,74005	0,14779	-0,01066	97,3	0,0050	5,57	1026,08
3	0,00777	0,37108	0,00048		97,2	0,0051	5,68	1477,92
4	3,27092	0,34121	-0,20695	0,99815	93,8	0,0076	8,49	438,36
5	0,23351	1,71634	1,03644		97,2	0,0050	5,57	10471,28
6	-0,01091	2,98747	-16,05169	31,72916	93,5	0,0076	8,47	415,30

Em que: b₀, b₁, b₂, e b₃ = coeficientes das equações; R² = coeficiente de determinação; S_{xy} = erro padrão de estimativa; e CV% = coeficiente de variação.

Os volumes reais e os volumes estimados pelas seis equações resultantes neste trabalho podem ser observados na Figura 3.

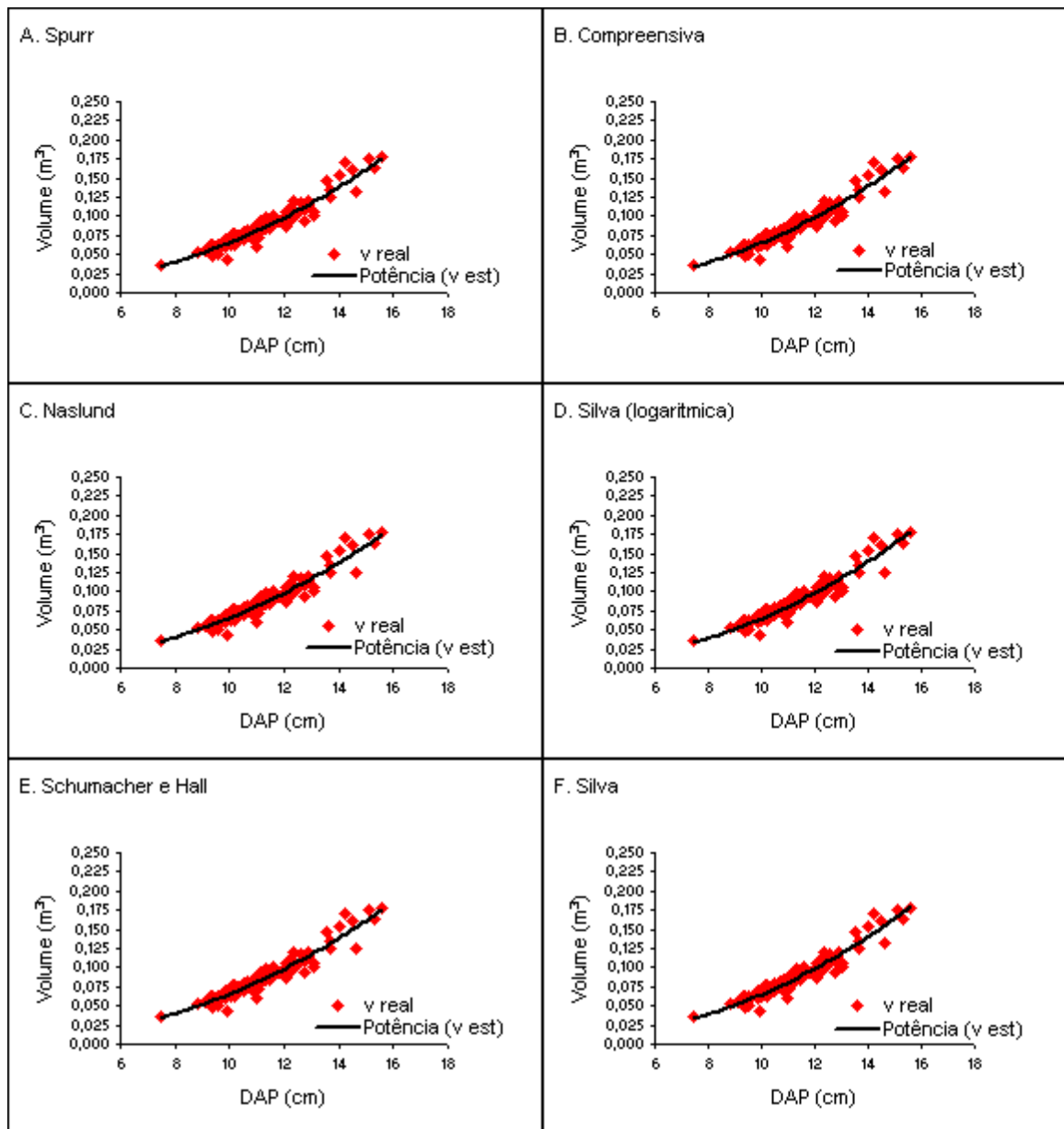


Figura 3. Volumes reais e estimados referentes às equações do grupo A no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E e 6-F.

Ao analisar, visualmente, a sobreposição dos volumes reais pelos volumes estimados, observa-se que as estimativas conseguem cobrir toda a faixa de variação da base de dados do volume real.

4.1.3 Análise gráfica dos resíduos

Na Figura 4 (A, B, C, D, E, F) são apresentadas às distribuições dos erros percentuais, entre os volumes reais e estimados, em função do DAP, referentes seis equações testadas no grupo A.

Um dos mais importantes elementos para avaliação de um modelo matemático é a visualização dos seus resíduos distribuídos em função de determinada variável de interesse, pois é prática comum escolher o melhor modelo observando as medidas de precisão da regressão que pode levar a resultados incorretos (MARTINS et al., 2007).

Segundo SANTANA et al. (2005), devido à dificuldade em se conseguir estimar com precisão os volumes de árvores, resíduos em torno de 20% são valores aceitáveis. Neste trabalho, os maiores resíduos percentuais foram menores que 25%.

Visualmente, as figuras 4A, 4B, 4C, e 4E, apresentam-se mais próximas quando comparadas às figuras 4D e 4F, por apresentarem a distribuição de dados mais uniforme na linha de nulidade.

Na realidade, esses resultados corroboram a importância da variável altura no cálculo do volume. Como nesta fase do trabalho as alturas foram determinadas ao invés de estimadas, elimina-se um importante tipo de erro, que é exatamente o que ocorre com frequência no campo, isto é, a estimativa da altura com instrumentos óticos, pois dentro de povoamentos florestais as copas se tocam e muitas vezes estimativas de alturas se torna uma tarefa difícil de ser realizada e envolve erros de medição, o que não é o caso na coleta de dados para ajuste de modelos volumétricos, pois as árvores são abatidas e suas alturas determinadas.

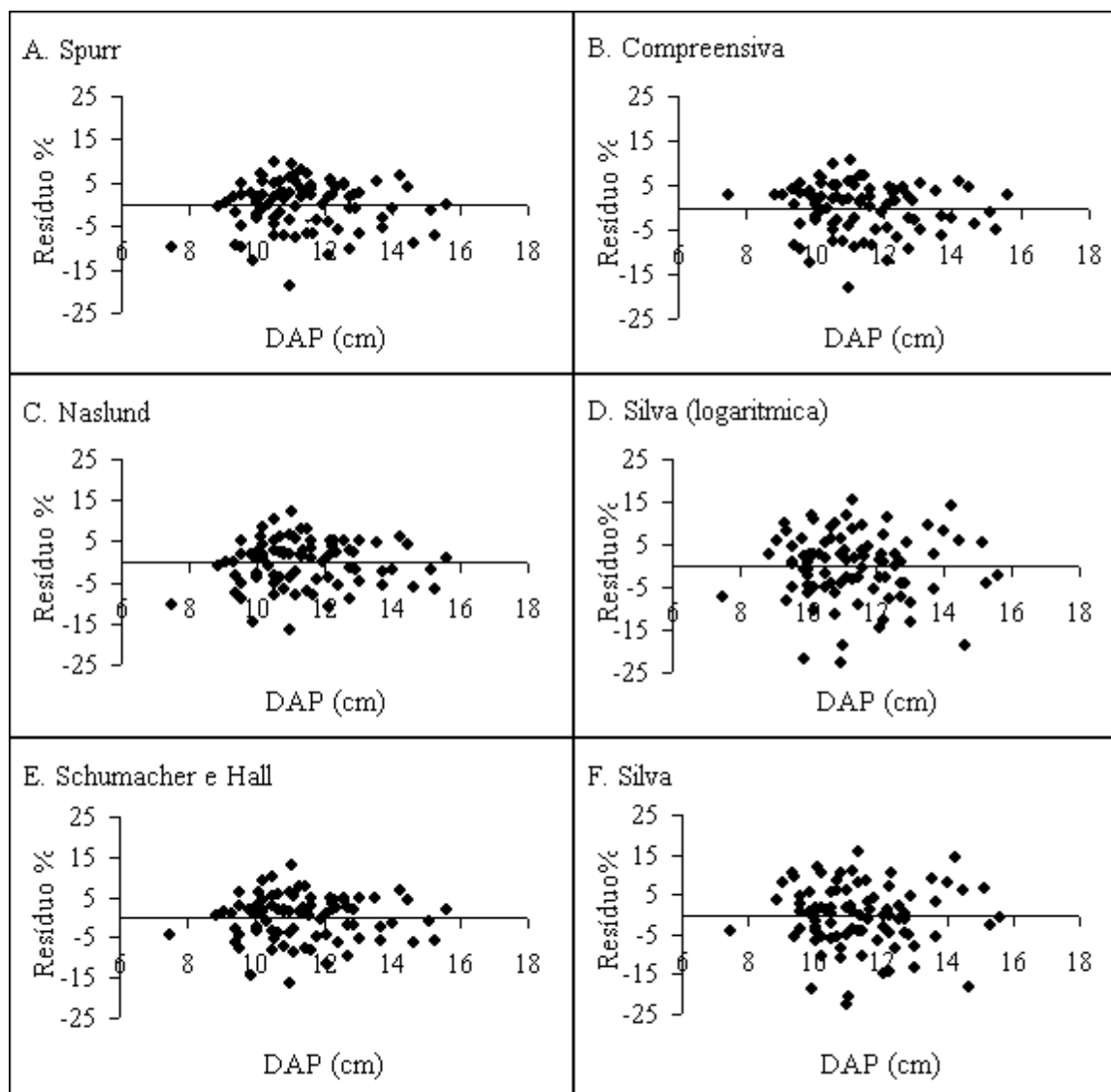


Figura 4. Distribuição dos resíduos referentes às equações do grupo A no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E; e 6-F.

Por conta disto foi selecionada a equação 4 devido à facilidade que o manejador ou pesquisador apresenta em medir na árvore os seis diâmetros nas alturas de 0,30m; 0,90m; 1,10m; 1,30m; 1,50m; e 1,70m, dispensando a estimativa da altura total da árvore.

Resultados semelhantes foram observados nos trabalhos de SILVA e BORDERS (1993), SILVA et al. (1992), SILVA et al. (1993), SILVA et al. (2000), RIBEIRO et al. (2001) em plantios respectivamente de *Pinus taeda*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus elliotti* e *Leucaena leucoccephala*, utilizando o método dos dois diâmetros comparados com os

modelos clássicos da literatura florestal, informando a eficiência da utilização de volumes seccionados na estimativa volumétrica destas espécies.

Em adição, Franco et al. (1998) constataram que a estimativa de biomassa de *Eucalyptus camaldulensis* pode ser obtida a custos mais baixos utilizando o método dos dois diâmetros.

Ao estimar o diâmetro da base de *Eucalyptus saligna* para obter a estimativa volumétrica sem casca, Tonini (2004) obteve as estatísticas, R^2 e CV, do modelo diamétrico de 97% e 6,28%; e do modelo volumétrico de 97% e 14,32%. Pela magnitude dos resíduos sugeriu que a equação não deve ser empregada na estimativa de volumes comerciais sem casca para povoamentos jovens, ou seja, com DAP menor que 12 cm. Já em povoamentos velhos, este problema é reduzido.

Semelhante procedimento foi descrito por Thiersch et al. (2006) que utilizaram o método dos dois diâmetros em dois clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*. A primeira medida foi tomada à altura do peito (DAP) e a segunda a 7 e 8 metros. Esses autores concluíram que o método dos dois diâmetros não deve ser utilizado para estimar o volume, pois é baixa a precisão, mesmo tendo o coeficiente de determinação variando de 97,29% a 97,70%.

É importante observar que esses autores não determinaram vários diâmetros na primeira tora, ao contrário do presente trabalho que tomou as medidas dos diâmetros na primeira tora com intervalo de 0,2 m de comprimento a partir de 0,3 m até 1,7 m de altura da árvore. Eles utilizaram diâmetros e comprimentos de toras a alturas de até 6 metros que foram estimados por equações hipsométricas e volumétricas, contrariando a metodologia proposta por Silva et al. (1993) que não usam medidas estimativas nas variáveis independentes das equações resultantes.

4.1.4 Comparação entre equações

Verificou-se no resultado da ANOVA que não existe diferença significativa, a 1% de probabilidade, no delineamento inteiramente aleatório. Isto possibilita inferir que a estimativa dos volumes pelas seis equações testadas estão satisfatória para prever o volume médio do experimento módulo de experimentação florestal para o Araripe-PE, (Tabela 11), o que vem a corroborar as inferências feitas com base nos critérios usados anteriormente.

Tabela 11. Resumo da ANOVA comparando os resultados dos volumes estimados pelas equações testadas e o volume real das árvores no inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	6	0,00000486	0,00000081	0,0009 ^{ns}
Resíduo	609	0,53448564	0,00087764	
Total	615	0,53449049		

Em que: FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, SQ = soma dos quadrados, QM = quadrado médio, e F = valor de F.

4.2 Descrição do grupo B

4.2.1 Distribuição das árvores no experimento

As maiores representações de indivíduos ocorreram nas classes de diâmetro 2 (6,9 cm a 8,9 cm); 3 (9,0 cm a 10,9 cm) e 4 (11,0 cm a 12,9 cm), correspondendo a 94,2% do total, foram distribuídas em 21,9% para a classe 2; 54,5% para a classe 3; e 17,8% para a classe 4. Também se observam a representatividade dos indivíduos nas classes de altura 2 (9,9 cm a 11,9 cm); 3 (12,0 cm a 13,9 cm) e 4 (14,0 cm a 15,9 cm), com uma porcentagem de 94,2% do total, sendo a contribuição de 29,3% para a classe 2; 48,2% para a classe 3; e 16,5% para a classe 4 (Tabela 12).

Tabela 12. Distribuição das árvores por classe de diâmetro e de altura para as árvores de *Eucalyptus* spp., pertencentes ao grupo B, no inventário realizado no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Classes de DAP (cm)	Classes de altura (m)					Total
	8,0 9,9	10,0 11,9	12,0 13,9	14,0 15,9	16,0 17,9	
5,0 6,9	1	3				4
7,0 8,9	5	27	22			54
9,0 10,9		39	76	15	1	131
11,0 12,9		1	20	21	1	43
13,0 14,9				4	4	8
15,0 16,9					2	2
Total	6	70	118	40	8	242

4.2.2 Volume do grupo

Os modelos testados, para ajustar as equações de volume, obtiveram valores de F significativo a 1% de probabilidade e variaram de 1701,12 a 29062,76. Os coeficientes de determinação relativos aos seis modelos testados foram acima de 95%, indicando que as variáveis independentes (DAP, H e Volume por Seção) explicam bem as variações existentes. Os seguintes autores Ribeiro et al., (2001) e Tonini (2004) trabalhando com eficiência dos modelos volumétricos, também obtiveram valores de R^2 próximos dos valores encontrados no presente trabalho.

Para o coeficiente de determinação, os modelos testados apresentaram excelente desempenho variando de 95,5% na equação 4, a 97,8% na equação 2. Os baixos valores do coeficiente de variação, que variaram de 6,27% nas equações 2, 3 e 5, e de 9,10% na equação 4, indicam que sua estimativa é precisa. O erro padrão da estimativa também apresentou semelhança nos resultados para as equações 2, 3 e 5 indicando uma maior precisão.

Em se tratando das equações 4 e 6 que utilizam diâmetros na primeira tora, o trabalho de Tonini (2004) empregando diferentes metodologias, entre elas o diâmetro na primeira tora, para estimar o volume de *Eucalyptus saligna*, obteve um coeficiente de variação 14,32%.

Os modelos de Naslund, Schumacher-Hall, Spurr e Compreensiva, comumente usados na seleção de equações volumétricas para várias essências florestais, também geraram, neste trabalho, equações precisas na estimação de volumes de clones de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe-PE.

Porém, por incluírem a variável independente altura (H), esses modelos admitem uma fonte de erro sistemático que poderá comprometer as estimativas volumétricas dos povoamentos florestais, sendo maiores quanto mais velhos e adensados forem esses povoamentos.

Os resultados para os modelos volumétricos e as estimativas de precisão, erro padrão da estimativa e coeficiente de variação para o grupo B, encontram-se na (Tabela 13).

Tabela 13. Parâmetros das equações testadas para a estimativa de volume para o grupo B no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.

Eq.	Coeficientes					R ² %	S _{xy}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄				
1	0,00955	0,42624				97,2	0,0046	6,99	29062,7
2	0,03691	-0,42307	0,09243	2,47163	-0,00568	97,8	0,0041	6,27	2580,5
3	-0,00109	4,24247	-0,00008	0,00228		97,7	0,0041	6,27	3439,5
4	1,25454	-2,06187	1,90193	1,30516		95,5	0,0061	9,10	1701,1
5	0,71005	1,842382	0,72470			97,6	0,0041	6,27	23951,1
6	-0,01011	-63,36286	11,12398	43,7688		95,8	0,0055	8,36	1835,3

Em que: b₀, b₁, b₂, b₃ e b₄ = coeficientes das equações; R² = coeficiente de determinação; S_{xy} = erro padrão de estimativa e CV% = coeficiente de variação.

As sobreposições gráficas dos volumes reais pelos volumes estimados provenientes das seis equações testadas neste trabalho são vistas na Figura 5. Ao analisar a sobreposição dos volumes reais pelos estimados, observa-se que as estimativas volumétricas propiciadas pelas equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, referentes à Figura 5 (A, B, C, D, E, F, respectivamente), conseguem cobrir toda a faixa de variação da base de dados, indicando um bom ajuste dos modelos aos dados.

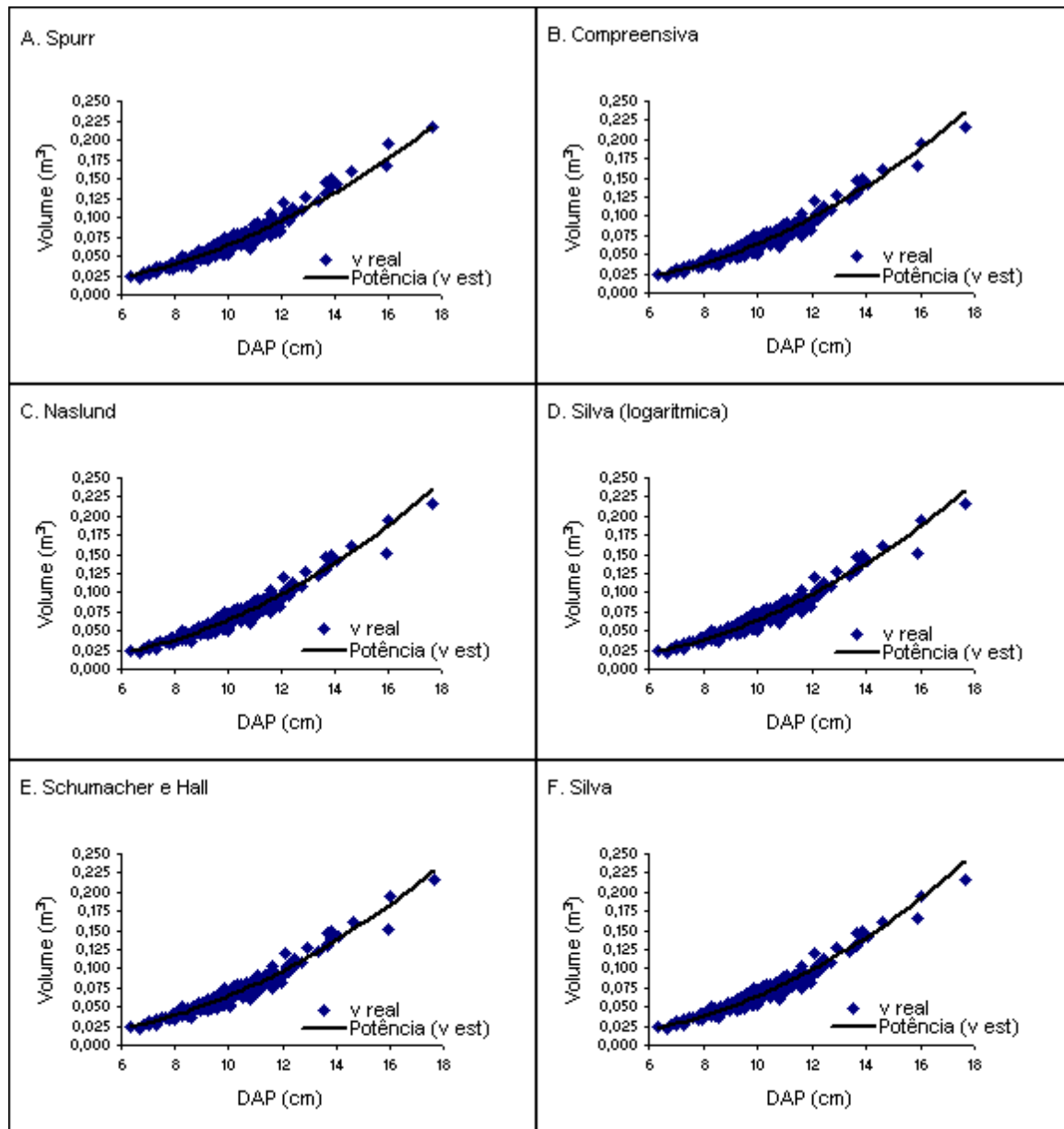


Figura 5. Volumes reais e estimados referentes às equações do grupo B no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E; e 6-F.

4.2.3 Análise gráfica dos resíduos

Na Figura 6 (A, B, C, D, E, F) estão apresentadas, as distribuições dos erros percentuais entre os volumes reais e estimados referentes as seis equações selecionadas para clones do gênero *Eucalyptus*, aos 60 meses de idade, na região da Chapada do Araripe, em Araripina-PE, selecionados como grupo B no presente estudo.

Todas as equações testadas no grupo B, à exceção das equações 4 e 6, que utilizam apenas os volumes por secção, utilizaram a variável independente altura (H)

na composição estrutural. Na estimativa dessa variável em campo, torna-se necessário o uso de instrumentos óticos (hipsômetros, relascópio, etc), implicando em erros sistemáticos.

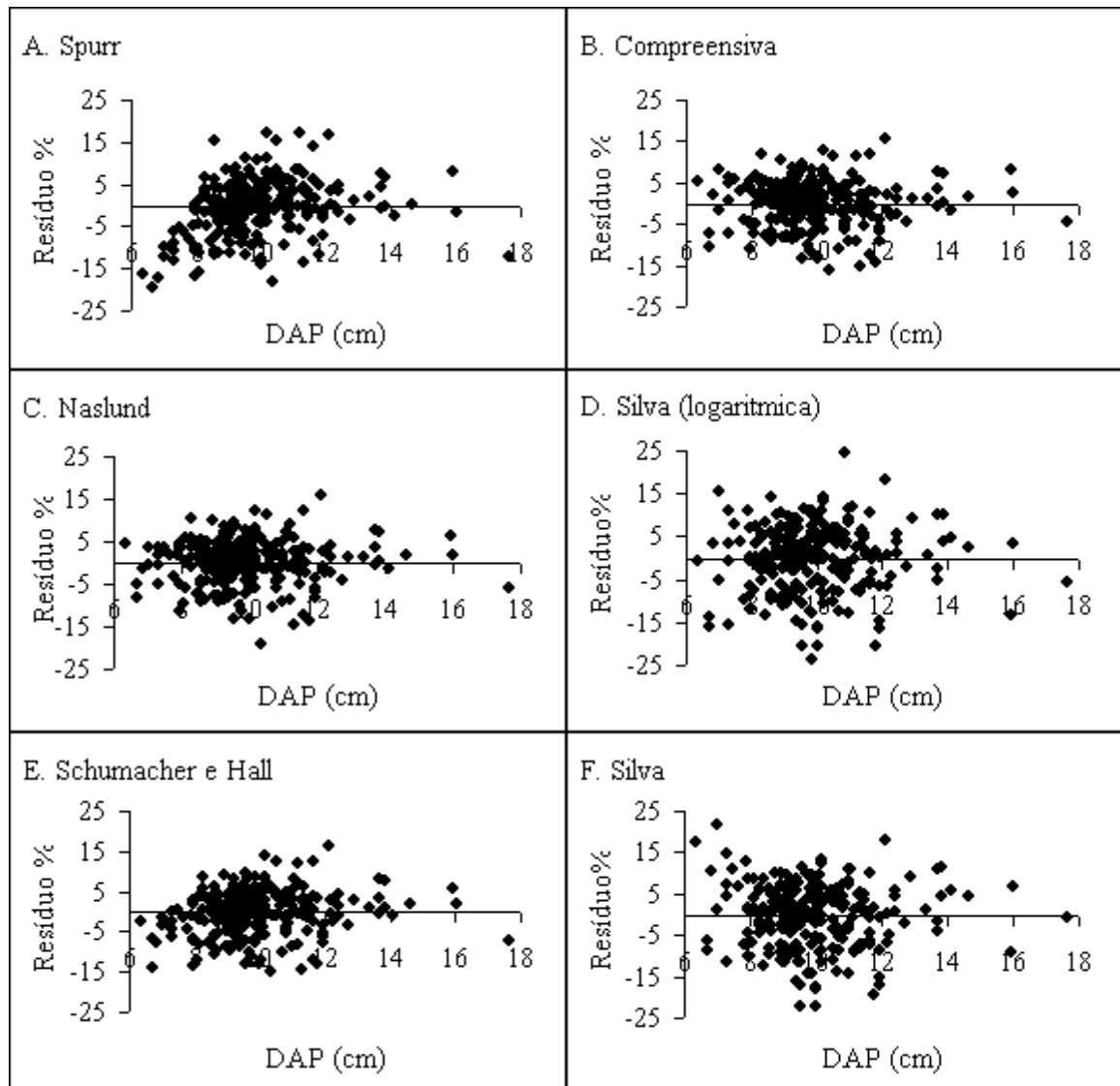


Figura 6. Distribuição dos resíduos referentes às equações do grupo B no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE. Equações: 1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E; e 6-F.

Desse modo, semelhante ao que aconteceu para os clones selecionados para o grupo A, levando em consideração os critérios de avaliação de escolha do melhor modelo para o grupo B, foi selecionada a equação 4 devido à facilidade de medir os diâmetros nas alturas de 0,30 m; 0,50 m; 0,70 m e 1,50 m da árvore, dispensando a estimativa da altura da árvore no campo.

Uma das vantagens apresentadas nos modelos que usam volumes parciais da primeira tora é a exclusão da medida de altura, das árvores no campo, permitindo uma redução no tempo de trabalho que poderá ser aproveitado, na obtenção de um maior número de árvores amostradas, diminuindo o erro amostral.

4.2.4 Comparação entre equações

O resultado da ANOVA, a 1% de probabilidade, possibilitou inferir que não ocorreram diferenças significativas entre as equações testadas, portanto, através desse procedimento, qualquer equação pode ser utilizada para estimar o volume de clones de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe-PE (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da ANOVA comparando os resultados dos volumes estimados pelas equações testadas para clones de *Eucalyptus* spp e híbridos, aos 60 meses, na Chapada do Araripe, Araripina-PE.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	6	0,00000714	0,00000119	0,0016 ^{ns}
Resíduo	1687	1,22758584	0,00072767	
Total	1693	1,22759298		

Em que: FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, SQ = soma dos quadrados, QM = quadrado médio, e F = valor de F.

Semelhante aos resultados encontrados para o grupo A, a ANOVA esta de acordo com os resultados baseados nos critérios de seleção adotados.

5. CONCLUSÕES

Em função dos critérios adotados para seleção das melhores equações por grupos, pode-se inferir que não existem diferenças significativas entre os modelos testados para estimar a produção volumétrica nos clones de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe-PE.

Assim, pela facilidade em campo, o modelo de regressão linear múltiplo proposto por Silva, que considera como variáveis independentes volumes das seções na primeira tora, foi considerado o mais adequado para estimar os volumes, nos grupos A e B, dos clones de *Eucalyptus* na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) na Chapada do Araripe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas: Uma análise considerando o Pólo Gesseiro do Sertão do Araripe – Estado de Pernambuco**. 2002. 185f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ANDRADE, E.N. **Manual do plantador de eucalyptos**. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Comp., 1911. p. 335.

ARAÚJO, S.M.S. **O Pólo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração**. 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Ciências - Área de Administração e Política de Recursos Minerais). Universidade de Campinas, Campinas-SP.

ASSIS, A.L. et al. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2004.

BAENA, E.S. A rentabilidade econômica da cultura do Eucalyptus e sua contribuição ao agronegócio brasileiro. **Conhecimento Interativo**, São José dos Pinhais, v.1, n.1, p. 3-9, jul./dez. 2005.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da fertilização sobre o crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2000, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM, 2000. p. 209 – 236.

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

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill inc, 1987. 789p.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons. 1981. 709p.

ENCARNAÇÃO, C.R.F. **Observações meteorológicas e tipos climáticos das unidades e campos experimentais da empresa IPA**. Recife: IPA, 1980.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, Piracicaba, n.45, p.22-30, jan./dez. 1992.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM. 1992. 269p.

FRANCO, E.J. et al. Eficiência na estimativa do peso seco para árvores individuais e definição do ponto ótimo de amostragem para determinação da densidade básica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 77-92, 1998.

GALVÃO, A.P.M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, DF: Embrapa, 2000. 351p.

GEOPHOTO - GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO. **Pólo Gesseiro de Pernambuco: diagnóstico e perspectivas de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe**. Fortaleza-CE, 2005. 15p.

GOMES, A.M.A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: JÁ Editores, 2006. 127p.

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, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2ª Edição, São Paulo: EDUSP, 1993. 301 p.

LOESTCH, F. et al. **Forest inventory**. Munchen: BLV Verlagellschaft, 1973. 2v. 469p.

LYNCH, T.B. Use of a tree volume equation based on two lower-stem diameters to estimate forest volume from sample tree counts. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.25, n.6, p.871-877, 1995.

MACHADO, S.A. et al. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Revista Cerne**, Lavras, v.12, n.3, p. 239-253, jul./set. 2006.

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

MARTINS, E.F.P et al. Curvas de índice de sítio para *Leucena* [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] no Agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n.4, p. 365-376, out-dez, 2007.

McTAGUE, J.P. et al. Equações de volume total, volume comercial e forma do tronco para plantações de *Eucalyptus* nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p.56-63, jan./dez. 1989.

MENON, M.U. Ajuste dos modelos de Kozak e do sistema Murkhart e Cao para plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ambiência**, Guarapuava, n.1, p. 197-205, 2005.

MEUNIER, I.M.J et al. **Inventário florestal: programas de estudo**. Recife: EDUFRPE, 2001.

MEYER, H.A. **Forest mensuration**. Pennsylvania: Penns Valley Publ., 1953. 357p.

PELLICO NETTO, S. Equivalência volumétrica: uma nova metodologia para estimativa do volume de árvores. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.2, n.1, p.17-30, jan./mar. 2004.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. A determinação de equações volumétricas na Engenharia Florestal. **IPEF**, Piracicaba, v.9, n.26, p.1-36, mar. 1993.

RIBEIRO, C.A.S. et al. Seleção de modelos volumétricos para leucena no agreste de Pernambuco. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, ano 20, n. 72, nov. 2001.

SANTANA, C. et al. Sistema de equações para simulação do crescimento e da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. sem desbaste baseado no modelo de Clutter. **Revista Ambiência**, n.1, p.239-256. Guarapuava: UNICENTRO, 2005.

SANTANA, O.A.; IMANA-ENCINAS, J. Equações volumétricas para uma plantação de *Eucalyptus urophylla* destinada a produção de lenha. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004. Santa Maria. **Anais...**Santa Maria, UFSM/PPGEF, 2004. p.107-111.

SCARPINELLA, G. D. A. **Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Kyoto**. 2002. 182f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: UFSM, 1998. 236p.

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

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

SILVA, J.A.A. **Análise de equações volumétricas para construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp., Segundo a Espécie, Região e Método de Regeneração.** 1977. 93f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

SILVA, J.A.A. et al. A tree volume equation base on two lower stem diameters for Caribbean Pine in Sri Lanka. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v.71, n.225, p. 114-116, June, 1992.

SILVA, J.A.A. et al. Equação volumétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, na região de Barbalha, Ceará, usando o volume da primeira tora como variável independente. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.17, n.1, p. 30-37, 1993.

SILVA, J.A.A. et al. Modelagem volumétrica de *Pinus elliottii* Engelm, no planalto do estado de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 24, n.1, p. 91-96, 2000.

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

SILVA, J.A.A.; BORDERS, B.E. A tree volume equation based on two lower, stem diameters for Loblolly Pine in the Southeastern United States. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington, US, v.17, n.4, p. 160-162, 1993.

SILVA, J.A.A.; SILVA, I.P. **Estatística experimental aplicada à ciência florestal.** Recife: UFRPE, 1982. 291p.

SILVA, J.A.A; PAULA-NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria.** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1979. 191p.: il.

SOARES C.P.B. et al. Estimativas de múltiplos volumes utilizando modelos tipo povoamento total In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2001, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM, 2001. p. 279 -286.

SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil Florestal**. São Paulo. Nov, 2006. 109 p.

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

SPURR, S.H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press, 1952. 476 p.

THIERSCH, C.R. et al. Acurácia dos métodos para estimativa comercial de clones de *Eucalyptuss sp.* **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 167-181, abr/jun. 2006.

THOMAS, C. et al. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise do tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p.319-327. 2006.

TONINI, H. Emprego de diferentes metodologias para o cálculo do volume comercial de *Eucalyptus saligna* Smith. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. p. 28-34.

TONINI, H. BORSOI G.A. Eficiência na estimativa volumétrica em árvores de *Pinus elliotti*, na região de curitibanos, Santa Catarina. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2., 2001, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2001. p. 539-561.

WILKINSON, L. **SYSTAT**: The system for statistics. Evanston, IL: Systat, 1990. v.2, 375p.

ANEXOS

Quadro A. Ficha de campo utilizada no trabalho de cubagem rigorosa das árvores de eucaliptos.

MÓDULO DE EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL PARA A REGIÃO DO ARARIPE					
TRATAMENTO ____ REPETIÇÃO ____ DIA _____ RESPONSÁVEL _____					
ÁRVORE 1		ÁRVORE 2		ÁRVORE 3	
CIRCUNFERÊNCIA		CIRCUNFERÊNCIA		CIRCUNFERÊNCIA	
0,30		0,30		0,30	
0,50		0,50		0,50	
0,70		0,70		0,70	
0,90		0,90		0,90	
1,10		1,10		1,10	
1,30 (CAP)		1,30 (CAP)		1,30 (CAP)	
1,50		1,50		1,50	
1,70		1,70		1,70	
2,30		2,30		2,30	
3,30		3,30		3,30	
4,30		4,30		4,30	
5,30		5,30		5,30	
6,30		6,30		6,30	
7,30		7,30		7,30	
8,30		8,30		8,30	
9,30		9,30		9,30	
10,30		10,30		10,30	
11,30		11,30		11,30	
12,30		12,30		12,30	
13,30		13,30		13,30	
14,30		14,30		14,30	
15,30		15,30		15,30	
16,30		16,30		16,30	
17,30		17,30		17,30	
18,30		18,30		18,30	
19,30		19,30		19,30	
20,30		20,30		20,30	
21,30		21,30		21,30	
22,30		22,30		22,30	
Ln		Ln		Ln	
Ht		Ht		Ht	
Hf		Hf		Hf	
C1°g		C1°g		C1°g	
Pg + Pfo		Pg + Pfo		Pg + Pfo	
Pfo		Pfo		Pfo	
PTcc		PTcc		PTcc	
Pcasca		Pcasca		Pcasca	

Quadro B. Ficha de campo a ser utilizada para medir os diâmetros, na primeira tora, nas alturas 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,10; 1,30; 1,50 e 1,70m.

MODULO DE EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL PARA A REGIÃO DO ARARIPE																										
REPETIÇÃO _____ - CIRCUNFERENCIAS e ALTURAS DA PARCELA ÚTIL - DATA DA COLETA _____ / _____ / _____																										
TRAT.	CIRC.	FILA 1					FILA 2					FILA 3					FILA 4					FILA 5				
#	#	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
10	0,3																									
	0,5																									
	0,7																									
	0,9																									
	1,1																									
CAP	1,3																									
	1,5																									
	1,7																									
	Ht																									
TRAT.	CIRC.	FILA 1					FILA 2					FILA 3					FILA 4					FILA 5				
#	#	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
11	0,3																									
	0,5																									
	0,7																									
	0,9																									
	1,1																									
CAP	1,3																									
	1,5																									
	1,7																									
	Ht																									

Quadro C. Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na construção das equações de volume, em que Min.= valor mínimo observado, Max.= valor máximo observado e s= desvio-padrão, Estação Experimental do Araripe, município de Araripina-PE.

Trat.	Nº árv.	DAP (cm)				Ht (m)				Volume(m3) da Seção 01			
		Média	Min.	Max.	s	Média	Min.	Max.	s	Média	Min.	Max.	s
1	22	9,95	7,30	16,00	1,7646	12,77	10,48	17,20	1,6851	0,00224	0,00118	0,00504	0,0008
2	22	9,73	6,40	11,90	1,2956	11,91	9,85	13,97	1,1564	0,00212	0,00130	0,00212	0,0005
3	22	9,54	6,70	12,40	1,4285	12,20	8,62	14,50	1,4230	0,00186	0,00096	0,00298	0,0005
4	22	9,71	6,80	13,70	1,6175	12,92	10,10	15,40	1,3478	0,00212	0,00102	0,00407	0,0007
5	22	10,96	7,50	15,10	1,8957	14,55	12,33	17,55	1,6135	0,00248	0,00106	0,00480	0,0010
6	22	10,31	7,30	15,90	2,1469	13,08	10,50	15,95	1,3900	0,00224	0,00117	0,00486	0,0009
7	22	11,38	9,40	14,60	1,4181	13,84	11,77	16,73	1,4253	0,00259	0,00147	0,00443	0,0007
8	22	9,51	6,70	12,40	1,5998	12,49	9,79	14,85	1,5424	0,00177	0,00088	0,00288	0,0006
9	22	9,91	8,10	11,90	1,0343	13,25	11,50	16,90	1,1547	0,00204	0,00146	0,00292	0,0005
10	22	10,50	8,60	12,70	1,2224	12,77	10,90	14,91	1,2746	0,00252	0,00163	0,00365	0,0006
11	22	11,60	9,50	15,30	1,4229	14,29	11,67	16,70	1,3569	0,00285	0,00187	0,00477	0,0008
12	22	9,73	8,30	14,10	1,2068	12,29	9,79	16,10	1,3294	0,00188	0,00134	0,00384	0,0005
13	22	10,05	8,00	13,70	1,5092	12,64	10,30	15,75	1,4873	0,00198	0,00130	0,00356	0,0006
14	22	10,15	7,50	17,70	2,5654	12,99	10,86	17,60	1,8633	0,00238	0,00127	0,00621	0,0013
15	22	11,48	8,80	15,60	1,5248	14,00	10,70	16,40	1,2169	0,00287	0,00187	0,00513	0,0008

Continuação...

Quadro C. Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na construção das equações de volume, em que Min.= valor mínimo observado, Max.= valor máximo observado e s= desvio-padrão, Estação Experimental do Araripe, município de Araripina-PE.

Trat.	Nº árv.	Volume (m3) da Seção 06				Volume (m3) da Seção 08				Volume (m3) da Seção 19				Volume (m3) da Seção 27			
		Média	Min.	Max.	s	Média	Min.	Max.	s	Média	Min.	Max.	s	Média	Min.	Max.	s
1	22	0,01181	0,00614	0,02745	0,0044	0,00201	0,00108	0,00469	0,0008	0,00172	0,00090	0,00426	0,0007	0,00313	0,00161	0,00785	0,0013
2	22	0,01120	0,00611	0,01742	0,0025	0,00188	0,00101	0,00288	0,0004	0,00163	0,00071	0,00239	0,0004	0,00291	0,00121	0,00430	0,0008
3	22	0,01011	0,00489	0,01635	0,0028	0,00172	0,00090	0,00271	0,0005	0,00154	0,00079	0,00248	0,0004	0,00285	0,00134	0,00466	0,0008
4	22	0,01105	0,00530	0,02183	0,0036	0,00189	0,00093	0,00363	0,0006	0,00164	0,00077	0,00326	0,0006	0,00293	0,00142	0,00568	0,0010
5	22	0,01338	0,00575	0,02524	0,0052	0,02320	0,00100	0,00432	0,0009	0,00206	0,00046	0,00386	0,0008	0,00378	0,00168	0,00696	0,0014
6	22	0,01206	0,00616	0,02644	0,0050	0,00209	0,00103	0,00468	0,0009	0,00187	0,00092	0,00431	0,0008	0,00338	0,00163	0,00749	0,0015
7	22	0,01378	0,00807	0,02333	0,0037	0,00244	0,00138	0,00414	0,0006	0,00223	0,00143	0,00359	0,0006	0,00395	0,00257	0,00659	0,0011
8	22	0,00978	0,00486	0,01634	0,0032	0,00167	0,00082	0,00271	0,0005	0,00152	0,00072	0,00252	0,0005	0,00284	0,00131	0,00478	0,0009
9	22	0,01103	0,00737	0,01656	0,0025	0,00183	0,00132	0,00245	0,0004	0,00166	0,00112	0,00233	0,0003	0,00300	0,00202	0,00419	0,0006
10	22	0,01303	0,00840	0,01896	0,0031	0,00227	0,00148	0,00323	0,0006	0,00192	0,00123	0,00265	0,0005	0,00340	0,00215	0,00497	0,0008
11	22	0,01519	0,01003	0,02477	0,0039	0,00259	0,00168	0,00447	0,0007	0,00228	0,00153	0,00386	0,0006	0,00416	0,00277	0,00711	0,0011
12	22	0,01030	0,00740	0,02061	0,0028	0,00175	0,00123	0,00362	0,0005	0,00159	0,00114	0,00321	0,0004	0,00295	0,00203	0,00611	0,0008
13	22	0,01096	0,00709	0,01990	0,0034	0,00184	0,00119	0,00330	0,0006	0,00169	0,00108	0,00308	0,0005	0,00317	0,00195	0,00568	0,0010
14	22	0,01249	0,00674	0,03267	0,0066	0,00215	0,00110	0,00591	0,0012	0,00185	0,00098	0,00531	0,0011	0,00333	0,00176	0,00937	0,0019
15	22	0,01532	0,00963	0,02729	0,0039	0,00259	0,00162	0,00474	0,0007	0,00225	0,00135	0,00409	0,0006	0,00413	0,00236	0,00749	0,0011

