



**UFRRJ**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**CAMILA PAULA DE OLIVEIRA**

**MÉTODO DA ALTURA RELATIVA NA ESTIMATIVA DO VOLUME INDIVIDUAL  
PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS GENÉTICOS DE EUCALIPTO.**

**Prof.º Dr.º ROGÉRIO LUIZ DA SILVA**  
**Orientador**

SEROPÉDICA, RJ  
JULHO – 2011



**UFRRJ**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**CAMILA PAULA DE OLIVEIRA**

**MÉTODO DA ALTURA RELATIVA NA ESTIMATIVA DO VOLUME INDIVIDUAL  
PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS GENÉTICOS DE EUCALIPTO.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Florestal, pelo Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof.º Dr.º ROGÉRIO LUIZ DA SILVA**  
**Orientador**

SEROPÉDICA, RJ  
JULHO – 2011

**MÉTODO DA ALTURA RELATIVA NA ESTIMATIVA DO VOLUME INDIVIDUAL  
PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS GENÉTICOS DE EUCALIPTO.**

Comissão examinadora:

Monografia aprovada em 06 de julho de 2011.

**ROGÉRIO LUIZ DA SILVA**  
UFRRJ / IF / DS  
Orientador

**HUGO BARBOSA AMORIM**  
UFRRJ / IF / DS  
Membro

**LUCAS AMARAL DE MELO**  
UFRRJ / IF / DS  
Membro

## DEDICATÓRIA

*A meus pais, Pedro Carlos de Oliveira e Vera Lúcia de Paula Oliveira.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força espiritual, por me dar sustento e coragem para não desistir.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade em me graduar na profissão escolhida.

Ao meu orientador Rogério Luiz da Silva, por ter me dado esta oportunidade e confiado a mim a responsabilidade de realização deste trabalho.

Ao querido Professor Hugo Barbosa Amorim por despertar-me o interesse pela mensuração florestal, pela ajuda e opiniões indispensáveis na realização deste trabalho, por ter me ensinado a manusear o Relascópio de Bitterlich e por todo conhecimento que adquiri neste tempo de convívio.

Ao Professor Lucas Amaral de Melo, pela participação na banca examinadora e pela grande e importante ajuda na coleta dos dados.

Ao querido professor Tokitika Morokawa pelas considerações que muito enriqueceram este trabalho e pelo profissional admirável que é.

Ao LAPER na pessoa do Professor Paulo Sérgio dos Santos Leles, pela viabilização da coleta de dados.

Aos colegas de graduação Jairo e Lucas, pela ajuda indispensável na cubagem rigorosa das árvores.

A Empresa Rigotex Têxtil pela disponibilização do experimento para a realização deste trabalho.

A meus pais, pelo carinho, dedicação, apoio e recursos, por terem desde muito cedo se preocupado em me conduzir ao caminho do conhecimento.

Aos meus irmãos Rute e André, pelo exemplo de vida e acadêmico.

Ao Wallace, pelo amor, carinho e paciência, por estar sempre ao meu lado e me apoiando, por muitas vezes deixar de usar seu computador para que eu o pudesse utilizar, não tenho palavras para agradecer.

As amigas Ana, Dani e Tainá, por eu poder contar com pessoas de tão bom coração, pelos momentos de descontração e companhia.

Aos amigos Kiko e Vinícius pela ajuda ao escrever o abstract.

A todos os amigos da turma 2006 I, pelos bons momentos, pelos conhecimentos compartilhados, pela amizade. Sentirei saudades.

A todos os profissionais da educação que por minha vida passaram e principalmente aos professores do Instituto de Florestas desta universidade, por transmitirem seus conhecimentos e me tornarem profissional.

Obrigada.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação do Método da Altura Relativa no cálculo da produção volumétrica individual para seleção de diferentes materiais genéticos de Eucalipto estabelecidos em Paty do Alferes, RJ. A base dos dados foi composta por 40 árvores, nas quais foram feitas as medições necessárias ao desenvolvimento do Método da Altura Relativa e a cubagem rigorosa, que foi utilizada para ajustar um modelo volumétrico e os fatores de forma geral e específico para cada material genético. Foram avaliados oito materiais genéticos aos 6,3 anos de idade. Analisando os quatro métodos de estimativa do volume pela soma dos resíduos percebeu-se que o Método da Altura Relativa apresentou o maior valor (12,27%), e que este método também proporcionou um menor índice de coincidência na classificação dos melhores materiais quando comparado ao realizado com base no volume real, não sendo indicado para a estimativa de volume de madeira visando a seleção de materiais genéticos no programa de melhoramento genético florestal. Observou-se que o maior erro constatado neste trabalho ao se utilizar o Método da Altura Relativa para estimativa do volume de árvores foi justificado pelo erro nas medições dos diâmetros na altura relativa por meio do uso do Relascópio de Bitterlich, pois ao estimar os volumes através do método utilizando os diâmetros na altura relativa reais medidos com fita métrica, observou-se uma diminuição considerável do erro (4,43%), sendo o menor dentre todos os métodos de estimação do volume avaliados no trabalho.

**Palavras Chaves:** Método Geométrico, melhoramento florestal, inventário florestal.

## ABSTRACT

The present work had as objective to evaluate the application of the Method of the Relative Height in the calculation of the individual volumetric production for election of different established genetic materials of Eucalipto in Paty do Alferes, RJ. The base of the data was composed for 40 trees, in which the necessary measurements to the development of the Method of the Relative Height and the rigorous volume determination, had been made, that was used to adjust to a volumetric model and the factors of general and specific form for each genetic material. Eight genetic materials with 6,3 years old had been evaluated. Analyzing the four methods of estimate of the volume for the addition of the residues one perceived that the Method of the Relative Height presented the biggest value (12.27%), and that this method also provided a lesser index of coincidence in the classification of the best materials when compared with carried through on the basis of the real volume, not being indicated for the wooden estimate of volume aiming at the election of genetic materials in the program of forest genetic improvement. One observed that the biggest error evidenced in this work to if using the Method of the Relative Height for estimate of the volume of trees was justified by the error in the measurements of the diameters in the relative height by means of the use of the Bitterlich relascop, therefore when esteem the volumes through the method using the diameters in the relative height real measured with metric ribbon, observed a considerable reduction of the error (4.43%), being the minor amongst all the methods of evaluated esteem of the volume in the work.

**Key Words:** Geometric method, forest improvement, forest inventory.

## SUMÁRIO

|   |             |
|---|-------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>  | <b>viii</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>1.INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>    |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>  | <b>2</b>    |
| 2.1 O Gênero <i>Eucalyptus</i> .....  | 2           |
| 2.2 O melhoramento genético do <i>Eucalyptus</i> .....  | 3           |
| 2.3 Volume de madeira .....   | 4           |
| 2.3.1 Cubagem rigorosa .....  | 6           |
| 2.3.2 Fator de Forma.....   | 7           |
| 2.3.3 Equações volumétricas .....   | 7           |
| 2.3.4 O Método da Altura Relativa ou Método Geométrico.....   | 9           |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>   | <b>11</b>   |
| 3.1 Área de coleta dos dados .....  | 11          |
| 3.2 Coleta dos dados .....  | 12          |
| 3.2.1 Método da Altura Relativa ou Método Geométrico .....  | 13          |
| 3.2.2 Fator de Forma Médio .....  | 16          |
| 3.2.3 Equação Volumétrica.....  | 16          |
| 3.3 Análise dos dados .....   | 18          |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>19</b>   |
| 4.1 Distribuição diamétrica.....  | 19          |
| 4.2 Estimativa do volume .....  | 21          |
| 4.3 Estimativa dos volumes pelo Método da Altura Relativa utilizando o diâmetro na altura relativa real ..... | 26          |
| 4.4 Seleção dos materiais genéticos.....  | 27          |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>  | <b>29</b>   |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>30</b>   |
| <b>7. ANEXOS .....</b>  | <b>34</b>   |

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Croqui de uma árvore-amostra, ilustrando as informações necessárias ao desenvolvimento do Método da Altura Relativa. Fonte: ANDRADE, (2001).... 10
- Figura 2:** Informações mensuradas com a árvore em pé exigidas para desenvolver o Método da Altura Relativa e ilustração dos segmentos de reta que passam pelos intervalos AB (I), BC (II) e CD (III) definidos no tronco da árvore. Adaptado de ANDRADE, (2006). ..... 14
- Figura 3:** Distribuição diamétrica dos 40 indivíduos de Eucalipto amostrados em função do *DAP* aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ. .... 19
- Figura 4:** Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados por material genético em função do *DAP* aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ. .... 20
- Figura 5:** Produção volumétrica real e obtida pelos quatro métodos de estimativa do volume para todos os materiais genéticos de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ, aos 6,3 anos de idade. .... 21
- Figura 6:** Volumes individuais reais e estimados pelos diferentes métodos avaliados (equação volumétrica, fator de forma médio, fator de forma médio por material genético e Método da Altura Relativa) para Eucalipto aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ. .... 23
- Figura 7:** Volumes individuais reais e estimados pelo Método da Altura Relativa utilizando o diâmetro na altura relativa estimado pelo uso do Relascópio de Bitterlich e utilizando o diâmetro na altura relativa real. .... 26

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1:</b> Fórmulas para o cálculo de volume através de métodos absolutos .....  | 6  |
| <b>Tabela 2:</b> Modelos volumétricos de simples entrada utilizados na área florestal .....  | 8  |
| <b>Tabela 3:</b> Modelos volumétricos de dupla entrada utilizados na área florestal.....   | 9  |
| <b>Tabela 4:</b> Material genético e procedências de Eucalipto utilizados no experimento de Paty do Alferes – RJ .....   | 12 |
| <b>Tabela 5:</b> Diâmetros a altura do peito dos materiais genéticos de Eucalipto amostrados em Paty do Alferes – RJ, aos 6,3 anos de idade .....  | 13 |
| <b>Tabela 6:</b> Modelos matemáticos de simples e dupla entrada testados para estimação do volume de madeira .....   | 17 |
| <b>Tabela 7:</b> Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação volumétrica selecionada proveniente do modelo de Schumacher e Hall .....  | 21 |
| <b>Tabela 8:</b> Volume real por hectare e calculado pelos métodos de estimativa nos diferentes materiais genéticos de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ, aos 6,3 anos de idade .....  | 22 |
| <b>Tabela 9:</b> Soma dos desvios absolutos e relativos obtidos pelos diferentes métodos de estimação do volume de plantas de Eucalipto aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ.....  | 22 |
| <b>Tabela 10:</b> Fator de forma com casca de diferentes materiais genético de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ, aos 6,3 anos de idade .....  | 24 |
| <b>Tabela 11:</b> Soma dos desvios absolutos e relativos obtidos pelos diferentes métodos de estimação do volume de plantas de Eucalipto .....   | 27 |
| <b>Tabela 12:</b> Ordenamento de materiais genéticos de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ aos 6,3 anos de idade, em função da produção volumétrica (m <sup>3</sup> ) obtida pela cubagem (padrão) e pelos métodos de estimativa..... | 28 |

## 1.INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade está intimamente ligado ao uso dos recursos naturais, especialmente dos florestais, sendo estes relevantes para o desenvolvimento econômico e social de um país, não apenas por constituírem fonte energética e de matéria-prima, mas também por serem indispensáveis para a conservação e estabilidade dos demais recursos naturais renováveis. É possível perceber que a sociedade moderna demanda constantemente o consumo de produtos de origem florestal essenciais como: mobiliário, construção civil e naval, celulose, papel, carvão vegetal, lenha, produtos alimentícios e farmacêuticos, entre outros. A história demonstra que no Brasil, até pouco tempo essa demanda era suprida quase que exclusivamente através das florestas nativas existentes no país, cuja intensa exploração desordenada e sem planejamento acabou por trazer danos irreversíveis a alguns ecossistemas. Entretanto, por outro lado, induziu também a busca por novas alternativas para o suprimento dessa demanda, a fim de minimizar a exploração sobre essas florestas naturais.

Neste contexto, as plantações florestais se intensificam no país a partir de 1960 motivadas especialmente por incentivos fiscais passando a ganhar destaque no cenário nacional e internacional com a formação de maciços florestais. Compostos principalmente por espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, a produção de madeira industrial passou a ser o principal alvo do manejo desses povoamentos para fins comerciais. Atualmente o *Eucalyptus* tornou-se o gênero econômico de maior importância para o setor florestal brasileiro, destacando-se entre os demais em virtude de alguns aspectos como o seu rápido crescimento, alta produtividade, versatilidade de uso e facilidade de adaptação de inúmeras espécies do gênero. Contudo, no início das atividades de reflorestamento comercial com o Eucalipto, as plantações ainda eram consideradas muito heterogêneas, o que resultava em uma baixa produtividade.

A crescente necessidade de obter florestas de *Eucalyptus* cada vez mais produtivas através da produção de madeiras com características que refletiam positivamente na qualidade do produto final levou a instituições tanto públicas quanto privadas a investirem em programas de melhoramento genético por meio da seleção de árvores superiores e posterior utilização de técnicas como a hibridação e a clonagem.

Segundo GONÇALVES et al. (2001), um dos maiores avanços genéticos no melhoramento de plantas, de que se tem conhecimento foi obtido no Brasil com a seleção massal, seguida da propagação vegetativa de indivíduos superiores de diferentes espécies de *Eucalyptus*. Esses avanços ocorreram principalmente devido à seleção intensiva de árvores fenotipicamente superiores, justificada pela existência de uma ampla variabilidade genética nas populações implantadas a partir de sementes.

Dentre outras características trabalhadas, o aumento da produção volumétrica sempre foi um objetivo básico dos programas de melhoramento florestal, sendo importante para isto compreender os fatores que afetam diretamente o incremento em volume por hectare. Deste modo, a avaliação do desempenho silvicultural dos materiais genéticos melhorados e a caracterização do potencial produtivo de uma região baseiam-se principalmente na obtenção de estimativas de volume individual, que expressa em m<sup>3</sup> o estoque de madeira de um povoamento.

No processo de seleção dos materiais genéticos é comum o uso de um fator de forma médio para a estimativa dos volumes individuais, onde estes são obtidos através de um índice

calculado pela razão entre o volume real e o volume cilíndrico que expressa a forma das árvores. Equações volumétricas também têm sido amplamente utilizadas para associar com precisão a variável volume a outras variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro na altura do peito (*DAP*), por exemplo. No entanto, muitas vezes a utilização de equações volumétricas geradas por meio da análise de regressão pode não indicar bem o valor volumétrico de um determinado material genético, ou mesmo, não ser capaz de identificar o genótipo com melhor forma, ou seja, a mais cilíndrica no processo de seleção dos materiais. O mesmo fato poderá ocorrer quando se utilizar de um fator de forma médio para a obtenção dos volumes individuais.

Para considerar da forma das árvores na avaliação da produção volumétrica durante a seleção, uma alternativa pode ser a utilização do Método da Altura Relativa. Este método também denominado Método Geométrico foi originalmente desenvolvido por ANDRADE & LEITE (1997) e caracteriza-se por dispensar o abate de árvores amostra para a cubagem, além de permitir que as informações a serem obtidas com a árvore em pé sejam medidas apenas para algumas árvores da parcela do inventário, cerca de cinco indivíduos conforme LEITE & ANDRADE (2002).

Nesta metodologia, por meio da medição de apenas três diâmetros ao longo do tronco da árvore em pé, são geradas equações segmentadas da forma do tronco por meio de geometria analítica, a partir das quais torna-se possível a estimação do diâmetro a diferentes alturas do tronco e posterior obtenção do volume individual com base na forma da árvore (ANDRADE et al. 2009). No entanto, faz-se necessário conhecer a eficiência deste método na classificação dos materiais genéticos durante a fase de seleção no melhoramento florestal. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo analisar a aplicação do Método da Altura Relativa no cálculo da produção volumétrica individual para a seleção de diferentes materiais genéticos de Eucalipto estabelecidos em Paty do Alferes, RJ.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O Gênero *Eucalyptus*

*Eucalyptus* em grego significa “verdadeira cobertura” (VITAL, 2007). Segundo MIGUEL (2009) este gênero pertence à família Myrtaceae e possui mais de 600 espécies conhecidas, além de variedades de híbridos. Ocorre naturalmente em uma gama de condições ambientais, que vão desde áreas pantanosas, até muito secas, de solos de baixada com alta fertilidade, até solos arenosos muito pobres. Além disso, ocupa ambientes altamente variáveis, tanto em termos de precipitação, quanto de temperaturas. Toda essa diversidade se concentra principalmente no continente australiano, apresentando, também, ocorrências na Indonésia e ilhas adjacentes.

De acordo com MOURA & GARCIA (2000), as espécies de *Eucalyptus* mais utilizadas no mundo são *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus saligna*. A maioria das espécies é típica de florestas altas, atingindo alturas que variam de 30 a 50 metros e de florestas abertas com árvores menores, atingindo alturas entre 10 e 25 metros. Cerca de 40 ou 50 espécies são arbustivas.

A velocidade de crescimento do eucalipto fez com que há muito tempo o gênero tenha sido exportado para países que precisavam repor suas florestas. Segundo QUEIROZ & BARRICHELO (2007), no Brasil há registros de que as primeiras árvores foram plantadas no Rio Grande do Sul para fins ornamentais. Porém, seu cultivo em escala econômica deu-se a partir de 1908, graças aos trabalhos realizados pelo agrônomo silvicultor Edmundo Navarro de Andrade feitos com o intuito de atender a Companhia Paulista de Estradas e Ferro, que demandava cada vez mais o consumo de dormentes e lenha para combustível, e posteriormente, postes para eletrificação. A partir da década de 40 as siderúrgicas mineiras começaram a aproveitar a madeira do eucalipto transformando-a em carvão utilizado no processo de fabricação do ferro-gusa. Posteriormente foi a vez do setor de papel e celulose adotar o eucalipto como matéria prima para sua atividade.

De acordo com QUEIROZ & BARRICHELO (2007) pode-se dizer que no Brasil o eucalipto foi à solução para a silvicultura, ocupando mais de 3,5 milhões de hectares de terras brasileiras recobertas por florestas cultivadas do gênero. Conforme os mesmos autores essas terras eram quase sempre esgotadas pelo plantio do café e pelo uso como pastagens e que, com o eucalipto, passaram a gerar renda, emprego, tornando o Brasil o maior exportador de celulose de fibra curta do mundo e um dos grandes fabricantes de produtos industrializados a partir da madeira.

Uma vasta gama de produtos pode ser obtida a partir do eucalipto, entre eles a madeira, que é o principal produto e possui inúmeras aplicações como: combustível, carvão, estacaria, postes, dormentes, celulose e papel, etanol celulósico, painéis de madeira reconstituída, construção civil e marcenaria. Além da madeira, suas folhas possuem óleos essenciais usados na indústria de higiene e limpeza, cosméticos e fármacos, as flores de algumas espécies também despertam o interesse para uso ornamental (C I S B, 2008).

As plantações florestais são atraentes porque conseguem produzir um maior volume de madeira, de uma qualidade homogênea superior as das matas tropicais naturais, além disso, a madeira de plantações se adapta melhor aos processos industriais estabelecidos, particularmente no setor de papel e celulose (MOURA & GARCIA, 2000). No entanto, segundo os mesmos autores, a produtividade das florestas de eucalipto pode ser afetada por fatores como: precipitação, solo, espaçamento, tratos culturais, idade de corte, pragas, doenças e espécie escolhida para a implantação, já que há grande variabilidade genética dentro de cada espécie, sendo então necessário identificar as melhores procedências para plantio.

## **2.2 O melhoramento genético do *Eucalyptus***

O objetivo básico do melhoramento florestal é garantir o aumento da produtividade e da qualidade da madeira a cada ciclo de seleção, sem com isso comprometer a base genética da população. Desta forma, é necessário garantir a sustentabilidade dos programas de melhoramento a médio e longo prazos (ODA et al. 1989). Segundo FERREIRA (1992) as estratégias de melhoramento genético de espécies florestais exóticas, de um modo geral, podem ser resumidas em seleção de espécies/procedências e seleção individual dentro de populações base. Utiliza-se a variabilidade genética natural existente entre populações e entre indivíduos. Os povoamentos para recombinação do material genético selecionado e para a continuidade da seleção recorrente são denominados Áreas de Coleta e Produção de Sementes, Pomares de Sementes por Mudanças e Clonais. A seleção dos indivíduos superiores é avaliada por testes de progênies convencionais.

GONÇALVES (1992), afirma que os programas de melhoramento são, comumente, desenvolvidos em ciclos repetidos de seleção e recombinação. As estratégias de

melhoramento estabelecem como estes ciclos serão organizados para produzir materiais geneticamente melhorados a serem utilizados nos plantios comerciais. A estrutura básica de uma estratégia de melhoramento é composta da população base, da população de melhoramento, dos métodos que buscam avaliar e selecionar árvores geneticamente superiores, dos métodos a serem utilizados na recombinação destas árvores, visando regenerar populações de melhoramento, que serão submetidas a novos ciclos de seleção, além dos métodos de multiplicação para prover material genético melhorado em quantidade para plantios comerciais. O correto emprego de material genético para a seleção e o uso de técnicas apropriadas de melhoramento são, assim, formas eficazes para a obtenção de ganhos crescentes de produtividade. A utilização da variabilidade genética para seleção dos melhores genótipos conduz ao aumento de alelos favoráveis, ao longo das gerações, resultando na melhoria das características almeçadas (JÚNIOR et al. 2005).

De acordo com QUEIROZ & BARRICHELO (2007), no início da eucaliptocultura comercial no Brasil a preocupação básica foi com a qualidade das sementes, do que resultou um intenso e diversificado programa de melhoramento florestal. O passo seguinte foi a seleção de clones e seus empregos na propagação vegetativa. Assim as pesquisas, muito importantes no caso do eucalipto avançaram e, com isso, a eucaliptocultura nacional passou a contar com árvores de altíssima qualidade, com madeira cada vez melhor para a produção de celulose, de carvão, de chapas, ou então com menos tensão de crescimento e que facilita a obtenção de tábuas ou ainda com crescimento mais veloz. Os mesmos autores ainda afirmam que o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (“urograndis”) passou a ser o material mais cultivado atualmente no Brasil, graças à propagação clonal em larga escala dos melhores indivíduos.

O melhoramento genético por via assexuada é realizado por meio do enraizamento de propágulos de árvores selecionadas, na maioria dos casos híbridos, visando à implantação de testes clonais e áreas de multiplicação clonal, básicas para a Silvicultura Intensiva Clonal (FERREIRA, 1992). A propagação clonal pode ser alcançada pela macropropagação ou pela micropropagação. A propagação vegetativa pela macropropagação envolve métodos convencionais, como a estaquia e a enxertia, enquanto que a micropropagação é realizada através da técnica da cultura de tecidos (HIGASHI et al. 2000). Segundo CARVALHO (2006) a propagação vegetativa de genótipos superiores permite ganhos de produtividade pelo uso da herdabilidade no sentido amplo, maximizando resultados em florestas resistentes a doenças, com grande homogeneidade e ganhos na qualidade da madeira. O seu emprego nos plantios comerciais de eucalipto possibilitou aliado a melhoria das técnicas silviculturais, um salto na produtividade de 8 m<sup>3</sup>/ha/ano para 45 m<sup>3</sup>/ha/ano, em um intervalo de 30 anos. No entanto, para que estes ganhos em produtividade tenham sido alcançados foi indispensável a instalação de experimentos em campo a fim de determinar o potencial produtivo dos melhores materiais genéticos através da obtenção de seus volumes.

### **2.3 Volume de madeira**

O volume de um tronco tem sido tradicionalmente definido como uma função da sua altura, diâmetro à altura do peito e forma, e pode ser estimado através de métodos alternativos: deslocamento de água (xilômetro), processos gráficos, o uso de fórmulas como as de Smalian, Huber ou Newton, ou por meio da integração de uma função de forma (AHRENS & HOLBERT, 1981). Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos levantamentos florestais, notadamente quando se trata de povoamentos destinados para fins comerciais (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2006).

É com base no volume que se desenvolvem o comércio de madeira, os inventários florestais e o abastecimento de grande maioria das indústrias do setor (AHRENS, 1982). Conhecer o volume de madeira de uma população é de suma importância, pois disso depende sua valorização e dos produtos florestais derivados. Além disso, os usos social, ecológico e economicamente correto destes recursos estão aumentando cada vez mais, colocando-os em evidência. A preocupação com o planejamento, ordenamento e o uso da madeira cada vez exige uma maior precisão dos inventários florestais (SCOLFORO & MELLO, 1997).

Segundo MACHADO & FIGUEIREDO FILHO (2006), a medição de todas as árvores de uma floresta com a finalidade de conhecer seus volumes é, muitas vezes, uma tarefa impraticável. Por isso, quase sempre, ela é inventariada por amostragem, sendo uma parte da população (amostra) medida, extrapolando-se as características dessa amostra para toda a floresta. Nestas unidades de amostra, os diâmetros com casca ( $d_{1,3}$ ) de todas as árvores são medidos e as alturas totais ( $h$ ) de todas as árvores ou apenas de algumas são também tomadas. A partir dessas medições, os volumes são estimados através de técnicas indiretas, tais como: fator de forma, equações de volume e funções de afilamento (*taper functions*). Os mesmos autores afirmam que há, portanto, a necessidade de uma base de dados que permita o desenvolvimento de uma dessas técnicas viabilizando as estimativas dos volumes das árvores de cada parcela. O uso de qualquer dessas técnicas, exige que árvores representativas da população sejam amostradas e seus volumes determinados com o máximo de rigor (volumes ditos *reais*), uma vez que eles constituirão a base para a estimativa volumétrica da floresta, sendo então imprescindíveis para a construção das funções de afilamento, de volume e os fatores de forma.

Estes volumes ditos *reais*, no entanto, poderão ser obtidos analiticamente através da cubagem rigorosa, pelo deslocamento de água (xilômetro) ou ainda através de seu peso, já que a árvore é um sólido irregular. Todavia, como tudo está ligado ao fator econômico, a validade do método estará no fato de que o mesmo seja aplicado com rapidez e que possua certo grau de precisão, sendo viáveis ao material lenhoso a ser mensurado (SILVA & PAULA NETO, 1979). Todos os métodos utilizados para estimar os volumes individuais buscam levar em consideração a forma das árvores no cálculo do volume, a qual varia de planta para planta. Segundo AHRENS (1982) a forma do tronco pode ser definida como o decréscimo em diâmetro da base de um tronco para sua extremidade superior.

Segundo MACHADO & FIGUEIREDO FILHO (2006) as árvores podem assumir as mais diferentes formas, desde aquela perfeitamente assimilável a uma figura geométrica, caso das coníferas, até aquelas com formas totalmente irregulares, não comparáveis a quaisquer tipos geométricos, como é o caso de árvores tortuosas típicas do cerrado. No entanto, os estudos sobre a forma do tronco foram direcionados àquelas árvores que poderiam ser consideradas como regulares, ou seja, que apresentam fustes cujos eixos principais possam ser comparáveis a figuras geométricas definidas. As pesquisas sobre este tema procuraram então, relacionar sólidos geométricos de revolução com as formas naturais das árvores. Tais sólidos são denominados de protótipos dendrométricos.

Os fustes podem assumir diferentes formas, assemelhando-se à de quatro sólidos de revolução, sendo eles: cone, parabolóide, neilóide e cilindro. Embora um dos sólidos possa ser utilizado para descrever o perfil do fuste de uma árvore, os quatro citados podem estar presentes ao mesmo tempo (SOARES et al. 2006). Segundo os mesmos autores os principais fatores que afetam a forma dos fustes das árvores são a espécie, idade, o espaçamento e a qualidade do local. Assim, estas diferentes técnicas utilizadas para determinar o volume de madeira devem contemplar estar variáveis a fim de se aumentar a precisão dos resultados obtidos.

### 2.3.1 Cubagem rigorosa

Segundo BELCHIOR (1996), a cubagem é o método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais e consiste na medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco, dividindo-o em seções.

De acordo com MACHADO & FIGUEIREDO FILHO (2006), a medição dos diâmetros ao longo do fuste pode ser feita em alturas absolutas ou relativas da árvore, ou uma combinação de ambas. Nos métodos absolutos o comprimento da seção não apresenta vínculo com o comprimento do fuste, já nos métodos relativos, as posições de mensuração são tomadas de maneira a representar um percentual do comprimento total da árvore. A soma dos volumes parciais de todas as seções resultará no volume da árvore e quanto menor o comprimento das seções mais acurado será o volume calculado, seja qual for o método empregado.

A cubagem deve ser realizada por classes de diâmetro e de altura. Nestas condições e dentro de tratamentos silviculturais semelhantes, espera-se que os indivíduos tenham formas semelhantes e constantes. Sendo assim, haverá uma constância nos volumes de todos os indivíduos pertencentes à mesma classe de altura e de diâmetro (GOMES, 1957, citado por MIGUEL, 2009).

As principais fórmulas empregadas na cubagem rigorosa são a de Smalian, a de Huber e a de Newton (Tabela 1), considerando que estas são válidas quando as seções assemelham-se a um tronco de parabolóide de revolução (THIERSCH, 2002).

**Tabela 1:** Fórmulas para o cálculo de volume através de métodos absolutos

| Autor   | Fórmula   |
|---------|---|
| Smalian | $V = L \cdot \frac{(g_1 + g_2)}{2}$               |
| Huber   | $V = L \cdot g_m$                                 |
| Newton  | $V = L \cdot \frac{(g_1 + 4 \cdot g_m + g_2)}{6}$ |

Em que:

V - Volume da seção (m<sup>3</sup>);

L - Comprimento da seção (m);

g<sub>1</sub> - área seccional da extremidade inferior da seção (m<sup>2</sup>);

g<sub>2</sub> - área seccional da extremidade superior do seção (m<sup>2</sup>);

g<sub>m</sub> - área seccional no meio da seção (m<sup>2</sup>).

No Brasil, a fórmula de Smalian tem sido tradicionalmente mais usada nos levantamentos florestais, normalmente empregando-se seções curtas até 2 metros de altura e seções de 1 ou 2 metros no restante do tronco, mais pela praticidade de emprego que por questões de acuracidade (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2006).

### 2.3.2 Fator de Forma

Neste processo o volume de uma árvore é estimado por meio de uma expressão matemática resolvida em função das variáveis diâmetro, altura e uma outra variável que exprima a forma da árvore, funcionando como um fator de redução. Este é o mais antigo método para estimar o volume e foi concebido, valendo-se do processo de rotação dos corpos (PÉLLICO NETTO, 1982). CUNHA (2004) o define como uma constante que deve ser multiplicada pelo produto da área basal pela altura, a fim de se ter o volume de uma árvore em pé. Segundo FRANCO et al. (1997) este método deve ser utilizado em situações em que não se tenha nenhuma informação, ou ainda necessite de rapidez do trabalho de inventário, e ele fornece estimativas confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio.

Conforme SILVA & PAULA NETTO (1979), o fator de forma pode ser expresso pela razão entre o volume da árvore e o volume de um sólido geométrico (cilindro) que possua o diâmetro igual ao *DAP* da árvore, assim como a altura. Portanto, este fator só poderá ser conhecido depois que o volume real da árvore for determinado, podendo-se empregar para isto qualquer método de cubagem. Sendo assim, o fator de forma poderá ser obtido através da expressão:

$$ff_{1,3} = \frac{v_{\text{real}}}{v_{\text{cil}}}, \text{ sendo } ff_{1,3} < 1.$$

Em que:

- $ff_{1,3}$ - fator de forma;
- v real – Volume real;
- v cil. – Volume cilíndrico.

De acordo com a expressão anterior, o volume de uma árvore, com ou sem casca, pode ser estimado multiplicando-se o volume do cilindro, definido pelo *DAP* e pela altura da árvore, por um fator de forma médio com ou sem casca, apropriado para a espécie (SOARES et al., 2006). De acordo com SILVA & PAULA NETTO (1979) é importante notar que o valor do  $ff_{1,3}$  conseguido corrige o volume do cilindro para o volume da árvore e vice versa, sendo que à medida que o valor do  $ff_{1,3}$  se aproxima de 1, mais cilíndrica será a árvore. No entanto, valores de fator de forma iguais a 1 não são obtidos, pois por mais cilíndrica que a árvore seja, sempre haverá um adelgaçamento mínimo.

Segundo CUNHA (2004), após o diâmetro e a altura o fator de forma constitui-se em variável importante na determinação volumétrica, sendo o crescimento em altura o elemento que o mais influencia. Deste modo, é possível saber que duas árvores geometricamente idênticas, porém com alturas diferentes, tem diferentes fatores de forma.

### 2.3.3 Equações volumétricas

Equações volumétricas ou funções de volume são funções matemáticas que relacionam uma variável de difícil obtenção, neste caso o volume, com variáveis mais facilmente mensuráveis e conseqüentemente mais baratas como o *DAP* (diâmetro à altura do peito), a altura total ou alguma medida que expresse a forma da árvore, embora esta última não seja muito empregada (MACHADO et al. 2008). Elas permitem o cálculo de volume sólido, árvore a árvore, através de modelos matemáticos especialmente testados para apresentar os menores erros possíveis (COUTO & BASTOS, 1987). Na área florestal, tais relações são obtidas por meio da análise de regressão, em que um modelo linear quase sempre

é preferido dado a sua simplicidade. O ajuste deste modelo é realizado com base nos dados obtidos pela cubagem rigorosa de árvores amostra e é feito na maioria dos casos pelo método dos mínimos quadrados ordinários, por minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre valores observados e estimados (Kirchner, 1988, citado por MACHADO et al. 2008).

Segundo SCOLFORO (2005) as equações volumétricas podem ser divididas em:

- Modelos de simples entrada: Explicam o volume através de uma única variável, no caso o *DAP*. Estes modelos podem ser adotados quando existe uma forte correlação entre o diâmetro e a altura, ou seja, quando o diâmetro explica bem o desenvolvimento da altura, podendo assim utilizar apenas o diâmetro para explicar o volume. Este procedimento pode ser conhecido também como modelo local, pois tal comportamento é possível ocorrer normalmente em áreas menores.

Na Tabela 2 pode-se observar os modelos de simples entrada mais utilizados na área florestal.

**Tabela 2:** Modelos volumétricos de simples entrada utilizados na área florestal

| Autor           | Modelo   |
|-----------------|--|
| Kopezky-Gehardt | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$  |
| Dissescu-Meyer  | $v = \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$  |
| Hohenadl-Krenm  | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 + \varepsilon$  |
| Berkhout        | $v = \beta_0 d^{\beta_1} + \varepsilon$  |
| Husch           | $\text{Ln } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } d + \text{Ln } \varepsilon$                       |
| Brenac          | $\text{Ln } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } d + \beta_2 \frac{1}{d} + \text{Ln } \varepsilon$ |

Fonte: Scolforo (2005).

Em que:

- v- volume em m<sup>3</sup>;
- d- diâmetro a altura do peito em cm;
- β's- coeficientes a serem estimados;
- Ln- logaritmo natural;
- ε- erro de estimativa.

- Modelos de dupla entrada: Explicam o volume através de duas variáveis, no caso o *DAP* e a altura. Este procedimento é adotado na maioria das situações, já que normalmente não existe uma forte relação hipsométrica. Assim, deve-se utilizar o diâmetro e a altura para explicar o volume. Este procedimento é também conhecido como modelo regional, pois este comportamento normalmente ocorre em escala regional. Na Tabela 3 pode-se observar os modelos de dupla entrada utilizados tradicionalmente na área florestal.

**Tabela 3:** Modelos volumétricos de dupla entrada utilizados na área florestal

| Autor           | Modelo   |
|-----------------|--|
| Spurr           | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$  |
| Schumacher-Hall | $v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} + \varepsilon$  |
| Honner          | $v = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{h}} + \varepsilon$                                  |
| Ogaya           | $v = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h) + \varepsilon$  |
| Stoate          | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h + \varepsilon$                          |
| Naslund         | $v = \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 dh^2 + \beta_4 h^2 + \varepsilon$                   |
| Takata          | $v = \frac{d^2 h}{\beta_0 + \beta_1 d} + \varepsilon$  |
| Spurr (log)     | $Ln v = \beta_0 + \beta_1 Ln(d^2 h) + \varepsilon$   |
| Meyer           | $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h + \varepsilon$ |

Fonte: Scolforo (2005).

Em que:

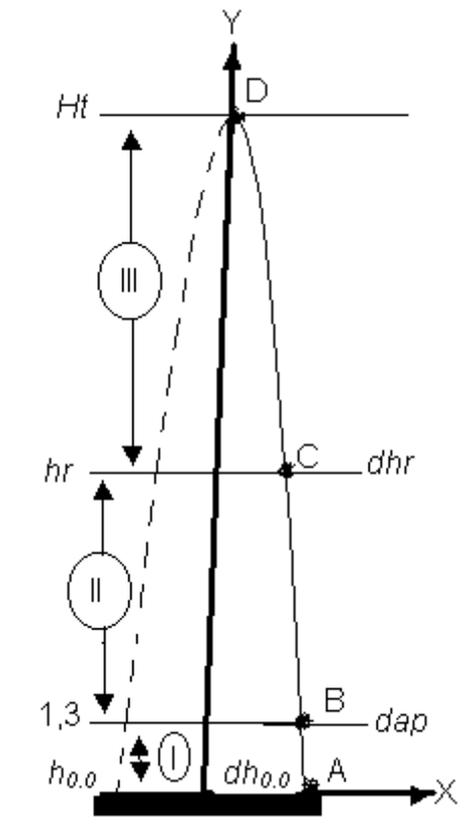
- v- volume em m<sup>3</sup>;
- d- diâmetro a altura do peito em cm;
- h- altura total em m;
- β's- coeficientes a serem estimados;
- Ln- logaritmo neperiano;
- ε- erro de estimativa.

Conforme McTAGUE et al.(1989) muitas vezes, estas equações são específicas para uma determinada espécie, idade, ciclo e local, e obviamente os custos envolvidos na obtenção de dados de cubagem rigorosa para construir equações são altos. Outra característica comum entre as equações de volume é que podem ser usadas somente para estimar o volume até um diâmetro mínimo fixo no topo. Em certos casos, porém, uma empresa pode mudar os limites de diâmetro superior de volume comercial, e isto obriga a elaboração de equações novas de volume comercial até o novo diâmetro mínimo.

### 2.3.4 O Método da Altura Relativa ou Método Geométrico

O Método Geométrico foi originalmente desenvolvido por ANDRADE & LEITE (1997) e envolve conceitos de geometria analítica para gerar o perfil do tronco. Conforme ANDRADE (2001) a base teórica do método da altura relativa segue o seguinte postulado: “Existe um determinado ponto entre o DAP e a altura total de uma árvore que, dividindo-a em dois intervalos, permite-se minimizar os erros da estimativa do taper, pois, em relação ao dap, considera-se que o perfil de uma árvore seja o resultado da intercessão de várias retas com coeficientes angulares em determinados intervalos aproximadamente iguais, sendo que os lados opostos se encontram no ponto coincidente com a altura total da árvore, tendo, portanto, o eixo Y como uma reta perpendicular que separa igualmente estes perfis”. Este postulado é melhor visualizado na Figura 1, onde são ilustradas as informações necessárias para o

desenvolvimento do método. O ponto de divisão da árvore, denominado de altura relativa é obtido através da equação:  $hr = \frac{(ht - 2)}{2}$ , conforme ANDRADE (2001).



**Figura 1:** Croqui de uma árvore-amostra, ilustrando as informações necessárias ao desenvolvimento do Método da Altura Relativa. Fonte: ANDRADE, (2001).

Em que:

$$hr = \frac{(ht - 2)}{2};$$

$d_{h0,0}$  - diâmetro em  $h_{0,0}$  metros do solo (altura de corte);

$d_{ap}$  - diâmetro a altura do peito (1,3 m);

$d_{hr}$  - diâmetro medido em  $hr$ ;

$d_{ht}$  - diâmetro medido em  $ht$  (zero);

A - Ponto contendo o par ordenado  $(x = \frac{d_{h0,0}}{2}; y = h_{0,0})$ ;

B - Ponto contendo o par ordenado  $(x = \frac{d_{ap}}{2}; y = h_{1,3})$ ;

C - Ponto contendo o par ordenado  $(x = \frac{d_{hr}}{2}; y = hr)$ ;

D - Ponto contendo o par ordenado  $(x = 0; y = ht)$ ;

I - Intervalo formado entre  $h_{0,0}$  e  $h_{1,3}$  (Ponto AB);

II - Intervalo formado entre  $h_{1,3}$  e  $hr$  (Ponto BC);

III - Intervalo formado entre  $hr$  e  $ht$  (Ponto CD).

Segundo CABACINHA et al. (2010), o método é dividido em Método Geométrico Original e Método Geométrico Modificado, em razão de algumas diferenças na coleta e processamento de dados utilizados para as estimativas de volume individual das árvores. No entanto, em ambos os métodos, conceitos de geometria analítica são aplicados para gerar o perfil do tronco e por meio de modificações algébricas realizadas no coeficiente angular da reta formada em intervalos pré-definidos na árvore em pé, são geradas expressões de *taper*, sem a necessidade de cubar a árvore rigorosamente. O Método da Altura Relativa possui também a vantagem de realizar as medições de diâmetros sem a necessidade de abate da árvore, utilizando-se, por exemplo, um Relascópio de Bitterlich.

LEITE & ANDRADE (2002), trabalhando com o método na condução de um inventário florestal, compararam os resultados obtidos utilizando o Método da Altura Relativa com os obtidos através de um método usual utilizando uma equação volumétrica, observou que os volumes obtidos pelos dois métodos foram iguais (156,21 e 156,9 m<sup>3</sup>/ha) concluindo que o método pode ser promissor, resultando em algumas vantagens como: redução no número de alturas medidas nas parcelas, eliminação das atividades de cubagem e ajustes de modelos volumétricos. ALMEIDA et al., (2010) avaliando a volumetria de *Eucalyptus urophylla* pelo Método Geométrico original e modificado observaram que ambos os métodos fornecem boas estimativas de volume, no entanto verificaram também que há perda de precisão nas estimativas, a qual está relacionada a maior conicidade presente nas árvores de maiores diâmetros, com fatores de forma inferiores a 0,46, assim como à presença de deformações nos fustes.

THIERSCH et al., (2006) verificando a acurácia de métodos para a estimativa do volume comercial de clones *Eucalyptus* avaliaram o método dos dois diâmetros, modelos volumétricos de simples e dupla entrada, o Método da Altura Relativa original e o modificado. Concluíram que o Método da Altura Relativa original e o modificado foram precisos, porém não exatos em todas as situações de idade e sítio estudadas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de coleta dos dados

O presente trabalho foi conduzido em um experimento instalado pela Empresa Rigotex Têxtil, no sítio Membeca distrito de Avelar no município de Paty do Alferes, Estado do Rio de Janeiro, a 22°17'58" de latitude sul e 43°16'20" de longitude oeste, a uma altitude de aproximadamente 706 metros. Segundo a classificação de Köppen o clima local é Cw, ou seja, tropical úmido de altitude, apresentando chuvas no verão e estiagem no inverno (INMET/MAARA, 1995). O relevo é considerado ondulado a fortemente ondulado e os solos predominantes da região são os Latossolos, Argissolos e Cambissolos (RIO DE JANEIRO, 1992).

Para o plantio das mudas o solo foi arado e, aproximadamente 30 dias antes do plantio, toda a área recebeu calagem na dosagem de 1,5 toneladas de calcário calcítico por hectare. Foram abertas as covas de plantio com dimensões de 25 x 25 x 25 cm, obedecendo-se o espaçamento de 3 x 2 metros. Em seguida, foi realizada a adubação de plantio com a aplicação de 200 g/cova da fórmula NPK (04-30-04) + 0,4% de Zn, e logo após a primeira chuva, o plantio das mudas, que ocorreu no princípio do mês de dezembro de 2005. Todas as

plantas receberam adubação de cobertura na quantidade de 100 g/cova da fórmula NPK (20-05-20) aos 04 meses após o plantio, e uma segunda adubação de cobertura com 100 g/cova de NPK (20-05-20) + 0,6 % de B aos 11 meses após o plantio. Capinas e roçadas foram realizadas periodicamente para diminuir o efeito da competição por plantas daninhas.

O experimento foi instalado em um delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos (Tabela 4) e três repetições, totalizando assim 24 parcelas. Em cada parcela foram delimitadas subparcelas formadas por cinco linhas em nível do terreno com sete covas morro acima, totalizando 35 plantas por parcela.

**Tabela 4:** Material genético e procedências de Eucalipto utilizados no experimento de Paty do Alferes – RJ

| Material genético                                    | Procedência    |
|--|----------------|
| <i>Corymbia citriodora</i>                           | Anhembi - SP   |
| <i>Eucalyptus grandis</i>                            | Anhembi - SP   |
| <i>Eucalyptus pellita</i>                            | Anhembi - SP   |
| <i>Eucalyptus saligna</i>                            | Anhembi - SP   |
| <i>Eucalyptus urophylla</i>                          | Anhembi - SP   |
| Clone 1 ( <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> )  | Campinas - SP  |
| Clone 2 ( <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> )  | Guaíba – RS    |
| <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> (urograndis) | Ititrapina- SP |

### 3.2 Coleta dos dados

Aos 6,3 anos de idade do plantio, foram coletados os dados de altura com hipsômetro de Haga ou vara dendrométrica dependendo da altura da planta, e a circunferência na altura do peito (*CAP*) utilizando uma fita métrica. Por meio das medições da *CAP* dessas árvores foi possível realizar a distribuição diamétrica por material genético e escolher as árvores a serem amostradas para aplicação do Método da Altura Relativa de forma a representar a variação diamétrica em cada material estudado (Tabela 5). Foram assim escolhidas 40 árvores no total para compor a amostra, sendo cinco por material genético distribuídas em função da distribuição diamétrica de cada material.

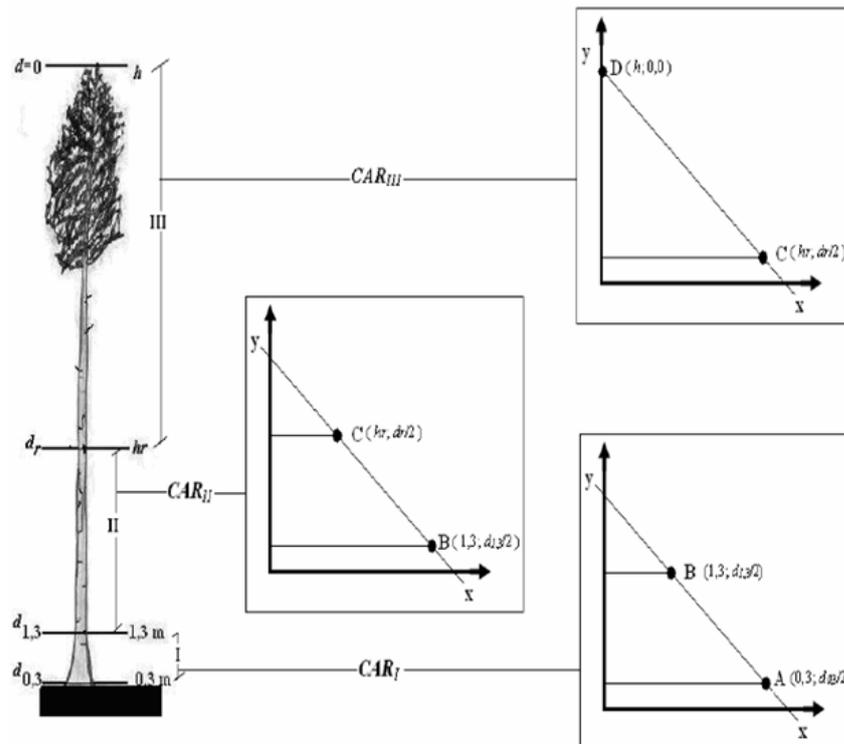
**Tabela 5:** Diâmetros a altura do peito dos materiais genéticos de Eucalipto amostrados em Paty do Alferes – RJ, aos 6,3 anos de idade

| Materiais genéticos   | Diâmetro amostrado (cm) |       |      |       |      |
|---|-------------------------|-------|------|-------|------|
|   | I                       | II    | III  | IV    | V    |
| <i>Corymbia citriodora</i>                                    | 4,46                    | 5,89  | 7,96 | 11,14 | 13,4 |
| <i>Eucalyptus grandis</i>                                     | 7,64                    | 9,96  | 12,4 | 14,32 | 17,8 |
| <i>Eucalyptus pellita</i>                                     | 5,86                    | 8,85  | 11,8 | 15,28 | 17,6 |
| <i>Eucalyptus saligna</i>                                     | 7,03                    | 9,96  | 13,9 | 15,37 | 18,3 |
| <i>Eucalyptus urophylla</i>                                   | 8,91                    | 12,1  | 14,3 | 18,78 | 20,1 |
| Clone 1 ( <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> )           | 9,1                     | 10,73 | 13,1 | 14,64 | 16,4 |
| Clone 2 ( <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> )           | 10,44                   | 12    | 14,9 | 17,6  | 20,2 |
| <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> ( <i>urograndis</i> ) | 8,02                    | 11,14 | 14,1 | 17,32 | 20,6 |

Após a seleção dessas 40 árvores no campo, foram realizadas primeiramente as medições necessárias para o desenvolvimento do Método da Altura Relativa com as árvores em pé. Posteriormente as mesmas foram abatidas para a realização da cubagem rigorosa pelo método de Smalian nas posições de: 0,10; 1,30; 3,30; 5,30 metros e assim sucessivamente de 2 em 2 metros até o diâmetro mínimo de 4 cm. Desta posição até o ápice da planta, o cálculo foi realizado considerando a ponta como um cone. Os volumes reais obtidos pela cubagem foram utilizados como testemunha para comparação entre os diferentes métodos de estimação de volume individual propostos neste trabalho.

### 3.2.1 Método da Altura Relativa ou Método Geométrico

Na realização deste trabalho foi utilizado um Relascópio de Bitterlich para as medições de campo necessárias ao desenvolvimento do método proposto por ANDRADE (2001), como pode ser observado na Figura 2. O Relascópio de Bitterlich foi utilizado para medir o diâmetro localizado em *hr* (altura relativa), pois, 1,30 m refere-se a *Cap* (circunferência a altura do peito) e 0,10 m à circunferência da base, que foram medidas em campo através do uso de uma fita métrica para obtenção dos dados e posterior transformação em diâmetro nestas respectivas alturas. Em *Ht*, o diâmetro é igual a zero.



**Figura 2:** Informações mensuradas com a árvore em pé exigidas para desenvolver o Método da Altura Relativa e ilustração dos segmentos de reta que passam pelos intervalos AB (I), BC (II) e CD (III) definidos no tronco da árvore. Adaptado de ANDRADE, (2006).

Por se tratar de um hipsômetro trigonométrico as medições foram realizadas sempre obedecendo a uma distância fixa das árvores, neste caso 15 metros. O procedimento das medições com o instrumento em campo foi feito da seguinte maneira: primeiramente mediu-se a altura total para obter-se a altura relativa ( $hr$ ) através da expressão  $hr = \frac{Ht - 2}{2}$ , de acordo com ANDRADE (2001).

Conhecendo a altura relativa da respectiva árvore tornou-se possível então a estimação do diâmetro nesta altura, por meio do conjunto de escalas numéricas constituído pela banda 1 e a de 4 quartos do Relascópio.

Para desenvolver o Método da Altura Relativa (Figura 2), primeiramente foram calculados os coeficientes angulares das retas que passam pelos intervalos definidos entre 0,10 m e 1,30 m (AB - I), 1,30 e  $hr$  (BC - II), e  $hr$  a  $Ht$  (CD - III). Desta forma, com os dados coletados em campo foi possível estimar estes coeficientes angulares que passam pelos respectivos intervalos I, II e III definidos nos troncos das árvores, através da aplicação das expressões abaixo, conforme ANDRADE (2001).

$$CAR_{ij} = \frac{1,3 - h_{0,0}}{(dap_j - dh_{0,0})} \quad (1)$$

$$CAR_{IIj} = \frac{1,3 - hr}{\frac{(dap_j - d_{hrj})}{2}} \quad (2)$$

$$CAR_{IIj} = \frac{hr - ht}{\frac{d_{hrj}}{2}} \quad (3)$$

Em que:

$(CAR_{i})_j$  - Coeficiente angular da reta definida pelo  $i$ -ésimo intervalo na  $j$ -ésima árvore amostra, sendo  $i = I, II$  e  $III$ ;

$d_{h0,0j}$ ,  $dap_j$  e  $d_{hrj}$  - Diâmetros medidos a  $h_{0,0}$ ;  $h_{1,3}$  e  $hr$  metros do nível do terreno, na  $j$ -ésima árvore amostra;

$ht_j$  - Altura total da  $j$ -ésima árvore amostra.

Como proposto por ANDRADE (2001), foram realizadas as transformações algébricas nas equações 1, 2 e 3 isolando-se  $d_{hij}$ , obtendo-se assim as expressões para definir o perfil do tronco:

$$d_{h0,0} = \frac{2h_{0,0j} - 2,6}{CAR_{Ij}} + dap_j \quad (4)$$

$$d_{hrj} = \frac{2hr_j - 2,6}{CAR_{IIj}} + dap_j \quad (5)$$

$$d_{hrj} = \frac{2(hr_j - ht_j)}{CAR_{IIIj}} \quad (6)$$

Utilizando as expressões 4, 5 e 6 foi possível a estimação dos diâmetros em diferentes alturas. Para simular a cubagem com a árvore em pé utilizou-se das expressões 4, entre 0,10 m até 1,3 m, da expressão 5 entre 1,3 m até  $hr$ , e da média entre as expressões 5 e 6 entre  $hr$  até  $ht$ . Sendo assim, as fórmulas foram aplicadas da seguinte maneira, conforme ANDRADE (2001).

- Para  $0,0 < h_i < 1,3$  m, utilizando a expressão 4, tem-se:

$$d_{hij} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{CAR_{Ij}} + dap_j \quad (7)$$

- Para  $1,3 < h_i < hr$ , utilizando a expressão 5, tem-se:

$$d_{hij} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{CAR_{IIj}} + dap_j \quad (8)$$

- Para  $h_r < h_i < h_t$ , utilizando a média entre as expressões 5 e 6, tem-se:

$$d_{h_{ij}} = \frac{h_{ij} - 1,3}{CAR_{IIj}} + \frac{h_{ij} - h_t}{CAR_{IIIj}} + \frac{dap}{2} \quad (9)$$

Utilizando as fórmulas 7, 8 e 9 os diâmetros puderam ser estimados em diferentes alturas nos troncos das árvores de acordo com os respectivos intervalos. No entanto, para a estimativa foram utilizadas as alturas referentes àquelas em que foram mensurados os diâmetros no ato da cubagem rigorosa das árvores em campo. Estimados os diâmetros nestas diferentes alturas, os volumes individuais pelo Método da Altura Relativa foram calculados aplicando-se a fórmula de Smalian (ANDRADE, 2001; CABACINHA, 2003; ANDRADE, 2006).

### 3.2.2 Fator de Forma Médio

Por meio da cubagem rigorosa realizada nas árvores amostradas, foi possível determinar o fator de forma das mesmas a partir da razão entre o volume da árvore cubada e o volume do cilindro com mesmo *DAP* e altura da árvore em questão. Para estimar o volume através do uso do fator de forma, foram utilizados dois métodos, o primeiro consistiu em calcular um fator de forma médio para cada material genético com base nas cinco árvores cubadas por material, e o segundo em calcular um fator de forma médio para todos os materiais estudados, ou seja, para as 40 árvores amostradas. Sendo assim, os volumes individuais foram calculados pelos dois métodos aplicando-se a expressão:

$$V = V_{cil.} \times ff$$

Em que:

- V - Volume individual ( $m^3$ );
- V cil. - Volume cilíndrico ( $m^3$ );
- ff - fator de forma médio.

### 3.2.3 Equação Volumétrica

Para estimar os volumes individuais através de uma equação, foram selecionados três modelos clássicos da literatura florestal de simples e dupla entrada, apresentados na Tabela 6. Estes modelos foram ajustados com base nos dados obtidos com a cubagem rigorosa através da análise de regressão utilizando o método dos mínimos quadrados para a estimativa dos parâmetros, conforme SCOLFORO (2005). Foi escolhido um único modelo para prever o volume de todos os materiais genéticos. Os critérios analisados para a escolha do melhor modelo através do ajuste de regressão foram o coeficiente de correlação, o coeficiente de determinação, o coeficiente de determinação ajustado, a significância dos coeficientes a 95%, o erro padrão de estimativa, a existência de dados discrepantes e a distribuição dos resíduos.

**Tabela 6:** Modelos matemáticos de simples e dupla entrada testados para estimação do volume de madeira

| Autor             | Modelo em sua forma linear                                   |
|-------------------|--|
| Kopezky-Gehhardt  | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$                    |
| Spurr             | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$                  |
| Schumacher e Hall | $Ln v = \beta_0 + \beta_1 Ln d + \beta_2 Ln h + \varepsilon$ |

Em que:

- v- volume em m<sup>3</sup>;
- d- diâmetro a altura do peito em cm;
- h- altura da árvore em m;
- $\beta$ 's- coeficientes a serem estimados;
- Ln- logaritmo neperiano;
- $\varepsilon$ - erro de estimativa.

Para o modelo de Schumacher-Hall foram também calculados o índice de Furnival e o fator de correção da discrepância logarítmica de Meyer, por se tratar de um modelo com variável dependente transformada. Através do índice de Furnival, o erro padrão da estimativa do modelo logarítmico foi corrigido na escala original da variável dependente, para possibilitar a comparação com os modelos aritméticos. Este índice foi calculado pela fórmula:

$$IF = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln v_{real\ i}}{n}\right) S_{xy}$$

Em que:

- IF - índice de Furnival;
- $v_{real}$  - volume individual real em m<sup>3</sup>;
- $S_{xy}$  - erro padrão da estimativa;
- n - o número de árvores amostradas.

A correção da discrepância logarítmica de Meyer foi utilizada para corrigir o erro sistemático da estimativa da variável dependente causado pela linearização do modelo logarítmico, sendo determinada através de um fator de correção:

$$fc = e^{QRM 0,5}$$

Em que:

- fc – fator de correção;
- QRM - Quadrado médio do resíduo.

### 3.3 Análise dos dados

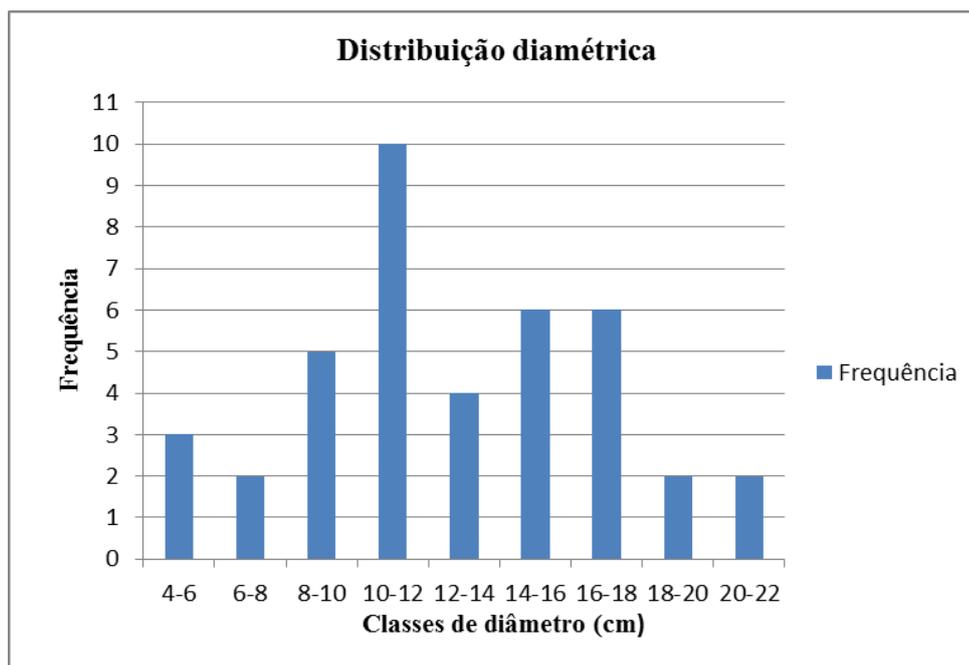
A análise dos quatro diferentes métodos propostos neste trabalho para estimar o volume individual de árvores foi realizada através da análise dos resíduos, para isto foram gerados os gráficos de sobreposição dos volumes reais pelos estimados para cada método testado e calculada a soma dos desvios causados para cada metodologia de estimativa. Além disso, para cada um dos métodos foi ajustado um modelo de regressão do volume individual em função do diâmetro.

Na avaliação genética dos materiais candidatos à seleção, foi utilizado o software SELEGEN proposto por RESENDE (2002), utilizando o procedimento REML/BLUP por meio do modelo estatístico 20 desenvolvido para blocos ao acaso, teste de clones não aparentados e uma planta por parcela. Desta forma, foi realizado o ordenamento dos melhores indivíduos com base na variável volume obtida pelos cinco métodos avaliados neste trabalho. A fim de se obter o ranking dos melhores materiais genéticos com base nesta variável e observar se houve diferença na classificação dos materiais nos diferentes métodos de estimativa do volume individual adotou-se o volume real obtido pela cubagem rigorosa como parâmetro a ser comparado, o que permitiu a determinação da porcentagem de coincidência de posição na ordem de classificação obtida pelos diferentes métodos de estimativa do volume. O índice de coincidência foi calculado considerando que cada ordenamento coincidente ao obtido com base no volume real fosse equivalente a 12,5%.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

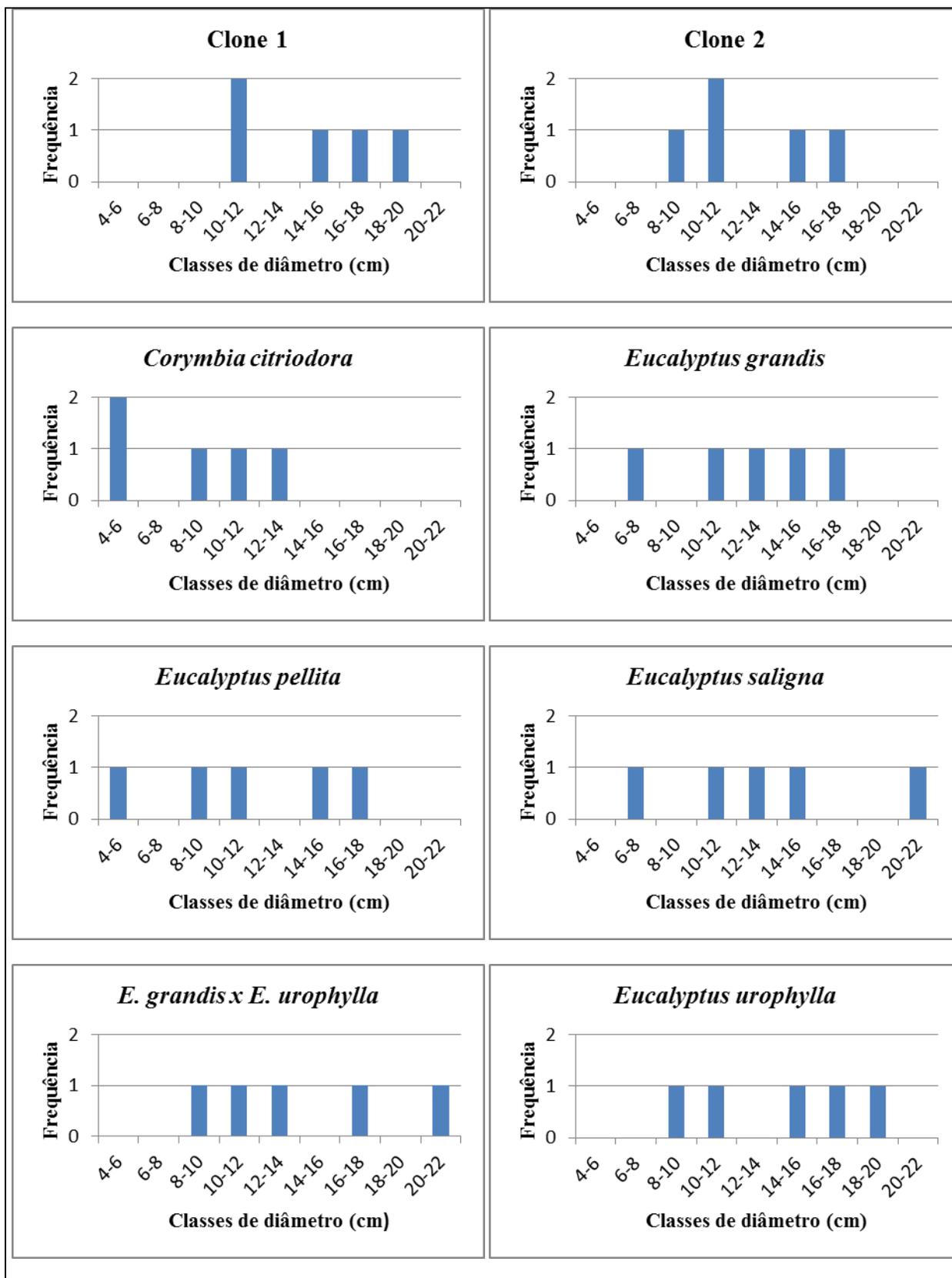
### 4.1 Distribuição diamétrica

Na Figura 3 é apresentada a distribuição diamétrica dos 40 indivíduos amostrados neste estudo. Por meio da figura percebe-se que a amplitude dos dados é muito grande, o que pode ser explicado em função da origem dos materiais genéticos.



**Figura 3:** Distribuição diamétrica dos 40 indivíduos de Eucalipto amostrados em função do DAP aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ.

Na Figura 4 é apresentada a distribuição diamétrica realizada separadamente para os oito materiais genéticos avaliados neste trabalho, confirmando a grande amplitude dos dados. A distribuição diamétrica comentada permitiria uma melhor avaliação das causas dessa variação.



**Figura 4:** Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados por material genético em função do DAP aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ.

## 4.2 Estimativa do volume

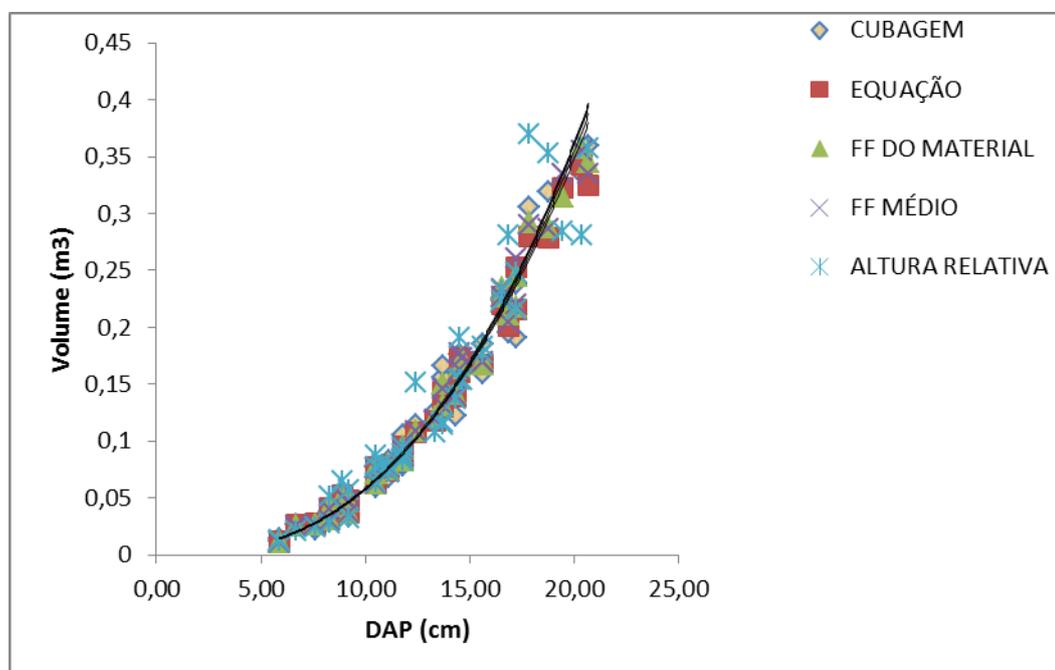
Na Tabela 7 é apresentada a equação volumétrica selecionada proveniente do modelo de Schumacher e Hal utilizada para prever o volume individual dos diferentes materiais genéticos avaliados.

**Tabela 7:** Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação volumétrica selecionada proveniente do modelo de Schumacher e Hall

| Equação selecionada  | R <sup>2</sup> (%) | Sxy(m <sup>3</sup> ) | Sxy(%) |
|--|--------------------|----------------------|--------|
| $\ln v = -9,931094317 + 1,964493521 \ln dap + 0,925664089 \ln H$ | 98,98              | 0,00906              | 6,81   |

Ln, v, dap e H - definidos anteriormente; R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação e Sxy - erro padrão residual.

Na Figura 5 é possível observar a ocorrência do aumento do volume (m<sup>3</sup>) em função do aumento em DAP (cm) independente do método de estimativa utilizado. Também percebe-se que as linhas de tendência geradas para cada método se encontram muito próximas permitindo dizer que os métodos de estimativa avaliados no trabalho pouco diferem entre si. No entanto, quando se avalia a produção volumétrica por hectare obtida pelas diferentes metodologias (Tabela 8), os resultados são contraditórios. Utilizando a cubagem como parâmetro é possível perceber a superestimação e ou a subestimação dos volumes por hectare causadas pelo uso dos métodos de estimativa.



**Figura 5:** Produção volumétrica real e obtida pelos quatro métodos de estimativa do volume para todos os materiais genéticos de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ, aos 6,3 anos de idade.

**Tabela 8:** Volume real por hectare e calculado pelos métodos de estimativa nos diferentes materiais genéticos de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ, aos 6,3 anos de idade

| Material genético                       | Volume por hectare (m <sup>3</sup> ) |          |          |             | Altura Relativa |
|---|--------------------------------------|----------|----------|-------------|-----------------|
|   | Cubagem                              | Equação  | ff médio | ff material |                 |
| Clone 1                                 | 206,7706                             | 203,5291 | 206,3109 | 207,1348    | 218,5594        |
| Clone 2                                 | 293,1032                             | 304,6906 | 312,8219 | 293,6238    | 286,2846        |
| <i>Corymbia citriodora</i>              | 98,0660                              | 98,1384  | 96,9193  | 99,0712     | 91,7724         |
| <i>Eucalyptus grandis</i>               | 215,3427                             | 210,0311 | 213,6816 | 214,9240    | 251,8164        |
| <i>Eucalyptus pellita</i>               | 163,9348                             | 176,8666 | 178,1218 | 176,1017    | 184,2919        |
| <i>Eucalyptus saligna</i>               | 252,8505                             | 243,6419 | 248,1118 | 249,5483    | 220,0416        |
| <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> | 280,3627                             | 263,0163 | 267,7313 | 276,3267    | 295,1593        |
| <i>Eucalyptus urophylla</i>             | 277,5726                             | 267,1844 | 272,6506 | 273,4162    | 285,7551        |

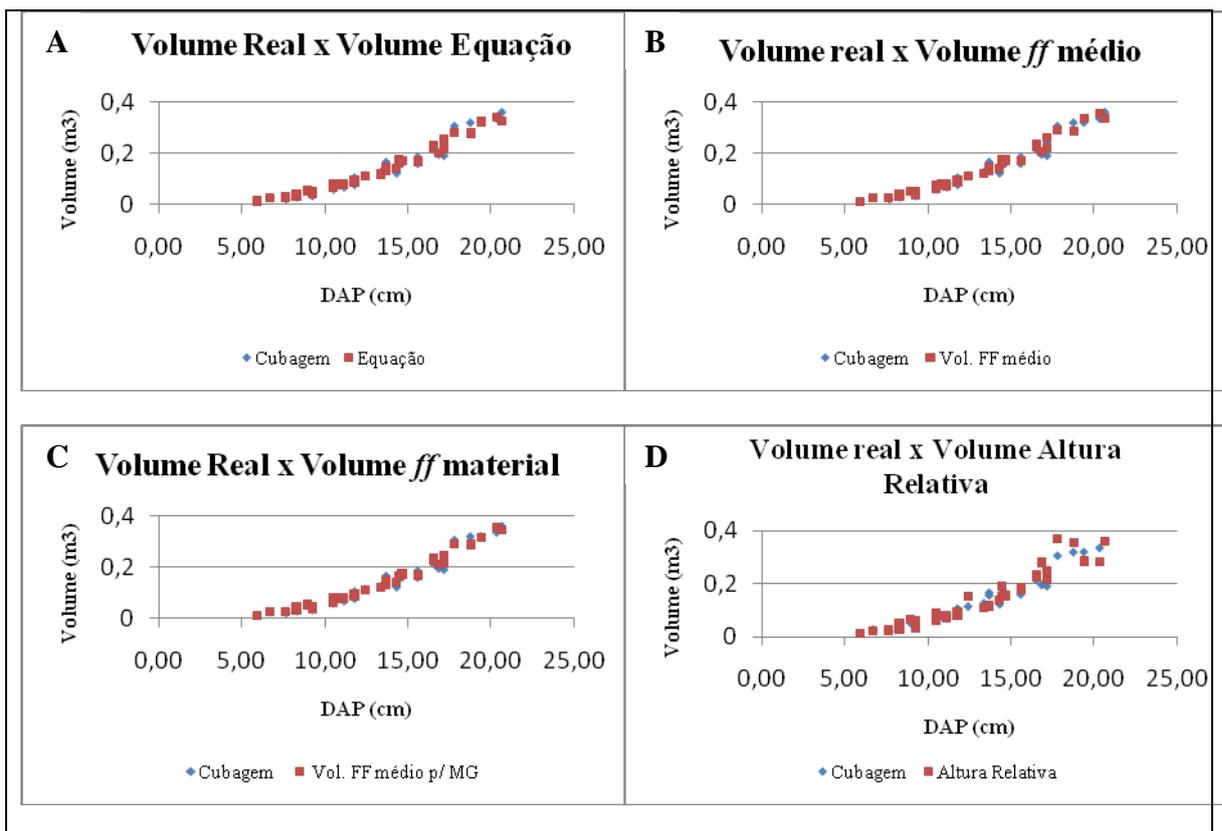
De modo geral, a Tabela 8 mostra que o Método da Altura Relativa foi o que apresentou maior erro, ora superestimando, ora subestimando os volumes por hectare, assim como o método do fator de forma médio obtido por material genético foi o melhor, superestimando ou subestimando menos os volumes por hectare. Estes resultados podem ser melhor explicados em função do erro causado pelos métodos de estimativa apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9:** Soma dos desvios absolutos e relativos obtidos pelos diferentes métodos de estimação do volume de plantas de Eucalipto aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ

| Método de estimativa              | Resíduo (m <sup>3</sup> ) | Resíduo (%) |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------|
| Equação                           | 0,371                     | 6,99        |
| Fator de forma médio              | 0,3928                    | 7,4         |
| Fator de forma médio por material | 0,3407                    | 6,42        |
| Método da Altura Relativa         | 0,6512                    | 12,27       |

Por meio da Tabela 9 que expressa em m<sup>3</sup> e em termos relativos os erros causados pelos processos de estimativa é possível confirmar que o método mais preciso, ou seja, que apresentou menor erro foi o do fator de forma médio obtido por material genético, seguido do método da equação volumétrica e do método do fator de forma médio, sendo o Método da Altura Relativa o que apresentou maior erro (12, 27 %).

Para facilitar a interpretação desses resultados são apresentadas na Figura 6 as sobreposições gráficas dos volumes reais pelos estimados através dos diferentes métodos de estimativa do volume individual avaliados neste trabalho. Na Figura 6A observa-se que a sobreposição gráfica dos volumes individuais estimados pelo uso da equação selecionada para os oito materiais genéticos não foi total, não conseguindo cobrir perfeitamente toda a faixa de variação da base de dados. Porém, visualmente este método pode ser considerado bom já que sempre haverá uma diferença entre os volumes individuais e os estimados, seja qual for o método empregado para esta estimativa. Neste método, o resíduo foi de 6,99 % (Tabela 9), ficando entre os menores valores encontrados.



**Figura 6:** Volumes individuais reais e estimados pelos diferentes métodos avaliados (equação volumétrica, fator de forma médio, fator de forma médio por material genético e Método da Altura Relativa) para Eucalypto aos 6,3 anos de idade em Paty do Alferes, RJ.

A sobreposição gráfica dos volumes reais pelos estimados através da equação selecionada permite confirmar as estatísticas de precisão da equação, indicando que a estimativa do volume individual a partir do diâmetro e da altura pode consistir em um método preciso neste caso. No entanto, deve se atentar para que a sobreposição foi mais eficiente nas menores classes de diâmetro, percebendo-se visualmente a ocorrência de um maior desvio em parte da amplitude dos dados a medida que o diâmetro aumenta. Tal situação pode estar associada ao rápido crescimento ocorrido nas árvores de maior porte, as quais tendem a formar fustes mais afilados (SCOLFORO & THIERSCH, 2004). Portanto, este afilamento pode ter influenciado na perda de precisão em todos os métodos nas classes diamétricas superiores, devido à acentuação na irregularidade da forma.

Também pode-se observar o bom ajustamento do modelo de Schumacher e Hall, que dentre os modelos testados apresentou o melhor coeficiente de correlação entre as variáveis, assim como o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado. Além disso, este foi também o modelo que apresentou menor erro padrão da estimativa corrigido pelo índice de Furnival ( $S_{xy}\% = 6,81\%$ ). Estes resultados são condizentes com o trabalho realizado por LEITE & ANDRADE (2002), em que o modelo de Schumacher e Hall resultou em estimativas precisas e livres de tendência.

O fator de forma médio obtido com base nos dados da cubagem rigorosa realizada em todos os indivíduos amostrados foi de 0,4558. Os volumes estimados por esta metodologia

foram sobrepostos aos volumes reais (Figura 6B), permitindo uma análise visual da distribuição dos resíduos, onde se percebe uma boa sobreposição dos volumes reais pelos estimados. Este fato pode ter ocorrido por, provavelmente, não haver uma variação tão abrupta na forma das árvores nos diferentes materiais genéticos (Tabela 10), permitindo uma boa estimativa dos volumes com base num fator de forma médio, que exprima a forma desse conjunto de árvores. Conforme explicado anteriormente, neste método também se observou que houve uma melhor sobreposição em todos os materiais nas classes de diâmetro mais baixas, tal fato pode ser explicado também pela complexidade da forma que aumenta proporcionalmente ao aumento da altura. Conforme FRANCO et al. (1997) este método fornece estimativas confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio, e como nesta situação estes fatores foram controlados, isto pode ser capaz de explicar a análise gráfica dos resíduos observada. SCOLFORO & THIERSCHE (2004) afirmam que como o fator de forma médio é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste e idade, deve se ter muito cuidado ao se utilizar um único número médio para representar todo o povoamento florestal.

**Tabela 10:** Fator de forma com casca de diferentes materiais genético de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ, aos 6,3 anos de idade

| Material genético                                   | $ff_{c/c}$ |
|---|------------|
| Clone 1 ( <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> ) | 0,45770    |
| Clone 2   | 0,42790    |
| <i>Corymbia citriodora</i>                          | 0,46600    |
| <i>Eucalyptus grandis</i>                           | 0,45853    |
| <i>Eucalyptus pellita</i>                           | 0,45071    |
| <i>Eucalyptus saligna</i>                           | 0,45852    |
| <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>             | 0,47052    |
| <i>Eucalyptus urophylla</i>                         | 0,45716    |

$ff_{c/c}$  – fator de forma com casca.

Considerando a sobreposição gráfica dos volumes reais pelos estimados utilizando os fatores de forma médios calculados especificamente para cada material (Figura 6C) é possível perceber por meio da análise visual dos resíduos, que este método apresentou melhor sobreposição dos volumes reais pelos estimados. Além da boa sobreposição, este foi também o método que apresentou menor soma dos resíduos (6,42%). Tal resultado pode ser explicado pelo tamanho reduzido da amostra utilizada para calcular estes fatores de forma, cinco indivíduos por material, e por estes fatores terem sido calculados para cada material separadamente o que permitiu representar com maior precisão a real forma dos indivíduos amostrados. No entanto, é importante ressaltar que este método ainda que mais preciso não é utilizado no meio florestal pela inviabilidade de se obter um fator que expresse a forma das árvores separadamente por material genético.

Dentre todos os métodos avaliados neste estudo para estimar o volume individual, nota-se que o Método da Altura Relativa foi o que visualmente apresentou pior sobreposição gráfica dos volumes reais pelos estimados (Figura 6D), assim como a maior soma dos resíduos, (12,28%). Estes resultados não estão de acordo com os encontrados por THIERSCHE et al. (2006), que trabalhando com a acurácia de métodos de estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus sp.*, concluíram que o Método da Altura Relativa foi o mais preciso e

exato na estimação dos volumes comerciais quando comparado ao uso do método dos dois diâmetros, das equações de simples e dupla entrada, apresentando visualmente a melhor sobreposição gráfica dos volumes reais pelos estimados, além de outros aspectos estatísticos também avaliados.

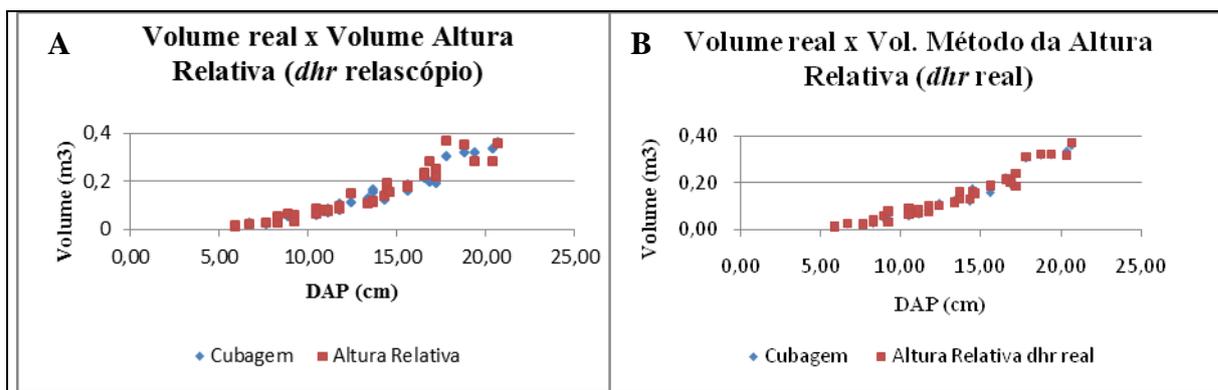
O comportamento visualizado no presente trabalho pode ser em parte explicado pela notável dificuldade de medição dos diâmetros na altura relativa através do uso do Relascópio de Bitterlich, a qual acarretou em um erro considerável de medição afetando diretamente as estimativas dos diâmetros e conseqüentemente as de volume através do método. A exatidão das medições com este instrumento estará sempre correlacionada com a habilidade do operador, devendo-se para isto ter a preocupação com o treinamento do mesmo, já que os erros de medição influenciam diretamente na precisão dos resultados esperados para este método. LEITE & ANDRADE (2004) afirmam que o Método da Altura Relativa apresenta muitas vantagens e pode proporcionar estimativas precisas de volume, porém salientam a necessidade de treinamento para o emprego do método, em especial sobre o uso do Relascópio de Bitterlich ou pentaprisma para as medições dos diâmetros na altura relativa das árvores.

Também pode-se observar uma menor sobreposição nas classes de diâmetro superiores. Como este método considera que os intervalos definidos nos troncos das árvores podem ser descritos por uma reta, certamente a forma das árvores influencia diretamente na precisão das estimativas de volume. ANDRADE et al. (2006) e ALMEIDA et al. (2010) trabalhando com este método, observaram que de forma geral a perda de precisão na estimativa dos diâmetros está relacionada ao fato do método não conseguir descrever bem o perfil de árvores muito cônicas, característica comum nas árvores maiores, já nas menores árvores que tiveram seu crescimento retardado por fatores genéticos ou ambientais, não foi observado perda de precisão nas estimativas, pois as mesmas apresentam fustes mais cilíndricos, gerando estimativas de diâmetro mais precisas. ALMEIDA et al. (2010) avaliando a precisão do método geométrico na estimativa do volume individual de árvore de *Eucalyptus urophylla* observaram que o método apresentou resultados estatisticamente semelhantes aos da cubagem rigorosa nas menores classes de diâmetro, porém nas maiores classes ( $DAP > 12$  cm) apresentou resultado diferente ao da cubagem rigorosa, além disso observaram também que a perda de precisão nas maiores árvores foi mais freqüente na porção acima da altura relativa, onde foram observados erros mais intensos. Segundo os mesmos autores esta porção apresenta características de forma que tendem para um cone, o que justifica os erros gerados pelo método.

Apesar do Método da Altura Relativa não ter sido o mais preciso para estimar os volumes individuais, este método apresenta algumas vantagens que podem ser consideradas quando assim convier. Uma delas é que ele permite a estimação de diâmetros a diferentes alturas funcionando como uma função de forma, permitindo quantificar multiprodutos da madeira, sendo, portanto interessante, pois em certos casos uma empresa pode mudar seu diâmetro mínimo de corte o que implica na elaboração de novas equações de volume até este novo diâmetro, e como se sabe, os custos envolvidos para a obtenção dos dados da cubagem para a elaboração das equações são muito elevados. Além disso, o método permite estimar o volume com base na forma da árvore excluindo a necessidade de cubar árvores amostra, sendo assim interessante na avaliação da produção volumétrica de materiais genéticos em testes de progênies, pois constitui-se uma maneira não destrutiva de obter os volumes individuais, ao contrário das outras metodologias aqui estudadas que necessitam do abate das árvores amostras, danificando assim os testes de progênie, o que na maioria das vezes não é interessante.

### 4.3 Estimativa dos volumes pelo Método da Altura Relativa utilizando o diâmetro na altura relativa real

Através da Figura 7 é possível observar os gráficos de sobreposição dos volumes reais pelos volumes estimados através do Método da Altura Relativa utilizando o diâmetro na altura relativa mensurado pelo uso do Relascópio de Bitterlich (Figura 7A) e utilizando o diâmetro na altura relativa real (Figura 7B) obtido por meio de uma fita métrica, em que a circunferência nesta altura do fuste foi medida no ato do abate das árvores em campo para realização da cubagem rigorosa e posteriormente essas circunferências foram transformadas em diâmetro na respectiva altura.



**Figura 7:** Volumes individuais reais e estimados pelo Método da Altura Relativa utilizando o diâmetro na altura relativa estimado pelo uso do Relascópio de Bitterlich e utilizando o diâmetro na altura relativa real.

Por meio da Figura 7 percebe-se visualmente que a sobreposição dos volumes reais pelos estimados através do Método da Altura Relativa utilizando o diâmetro na altura relativa real é mais eficiente quando comparada a sobreposição gráfica obtida pelo Método da Altura Relativa utilizando o Relascópio de Bitterlich para estimativa dos diâmetros na altura relativa. Além de apresentar melhor sobreposição dos volumes reais pelos estimados este procedimento permitiu uma redução considerável do erro causado pelo processo de estimativa. Enquanto o erro para o Método da Altura Relativa utilizando o Relascópio de Bitterlich para a estimativa dos diâmetros foi de 12,27%, o erro causado pela estimativa através do Método da Altura Relativa utilizando o diâmetro na altura relativa real foi de apenas 4,43%, sendo, portanto o menor erro observado dentro os métodos de estimação do volume avaliados neste trabalho. Isto pode ser melhor explicado através da Tabela 11 que expressa em m<sup>3</sup> e em termos relativos o erros causados pelos métodos de estimação do volume avaliados.

**Tabela 11:** Soma dos desvios absolutos e relativos obtidos pelos diferentes métodos de estimação do volume de plantas de Eucalipto

| Método de estimativa                         | Resíduo (m <sup>3</sup> ) | Resíduo (%) |
|--|---------------------------|-------------|
| Equação                                      | 0,371                     | 6,99        |
| Fator de forma médio                         | 0,3928                    | 7,4         |
| Fator de forma médio por material            | 0,3407                    | 6,42        |
| Método da Altura Relativa                    | 0,6512                    | 12,27       |
| Método da Altura Relativa ( <i>dhr</i> real) | 0,2351                    | 4,43        |

A partir dos dados apresentados na Tabela 11 é possível confirmar que o maior erro observado no Método da Altura Relativa neste trabalho (12,27 %) deve-se certamente aos erros de medição dos diâmetros na altura relativa através do uso do Relascópio de Bitterlich, já que ao adotar o método utilizando os diâmetros na altura relativa real percebe-se uma diminuição drástica do erro. Deste modo é possível confirmar que o Método da Altura Relativa é capaz de estimar o volume de árvores eficientemente, resultando em estimativas precisas e livres de tendência. No entanto, a eficiência na estimativa dos volumes por meio do método está fortemente ligada à acurácia de medição dos diâmetros na altura relativa através do uso do Relascópio de Bitterlich ou pentaprisma, já que a partir dos resultados apresentados percebe-se um ganho considerável em precisão quando o diâmetro na altura relativa é medido com acurácia, sendo mais eficiente até mesmo que as tradicionais equações volumétricas.

#### 4.4 Seleção dos materiais genéticos

Por meio do programa SELEGEN foi realizado o ordenamento dos materiais genéticos com base na produção volumétrica obtida pelos diferentes métodos de estimativa (Tabela 12). Considerando a produção volumétrica real obtida pela cubagem rigorosa das árvores amostra como padrão para efeito de comparação e na determinação do índice de coincidência, observou-se que a classificação gerada a partir do método do fator de forma específico para cada material foi a mesma obtida pela cubagem. Tal resultado pode estar relacionado ao reduzido tamanho da amostra utilizada para calcular estes fatores de forma e por estes fatores terem sido calculados para cada material separadamente, o que permitiu representar com maior precisão a real forma dos indivíduos amostrados.

**Tabela 12:** Ordenamento de materiais genéticos de Eucalipto analisados em Paty do Alferes, RJ aos 6,3 anos de idade, em função da produção volumétrica (m<sup>3</sup>) obtida pela cubagem (padrão) e pelos métodos de estimativa

| Classificação              | Volume (m <sup>3</sup> )          |                                   |                                   |                                   | Altura Relativa                   |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                            | Cubagem                           | Equação                           | <i>ff</i> médio                   | <i>ff</i> material                |                                   |
| 1°                         | Clone 2<br>(0,17586)              | Clone 2<br>(0,18281)              | Clone 2<br>(0,18769)              | Clone 2<br>(0,17617)              | <i>E. urograndis</i><br>(0,17710) |
| 2°                         | <i>E. urograndis</i><br>(0,16822) | <i>E. urophylla</i><br>(0,16031)  | <i>E. urophylla</i><br>(0,16359)  | <i>E. urograndis</i><br>(0,16064) | Clone 2<br>(0,17177)              |
| 3°                         | <i>E. urophylla</i><br>(0,1665)   | <i>E. urograndis</i><br>(0,15781) | <i>E. urograndis</i><br>(0,16064) | <i>E. urophylla</i><br>(0,16405)  | <i>E. urophylla</i><br>(0,17145)  |
| 4°                         | <i>E. saligna</i><br>(0,1517)     | <i>E. saligna</i><br>(0,1462)     | <i>E. saligna</i><br>(0,1489)     | <i>E. saligna</i><br>(0,1497)     | <i>E. grandis</i><br>(0,1511)     |
| 5°                         | <i>E. grandis</i><br>(0,1292)     | <i>E. grandis</i><br>(0,1260)     | <i>E. grandis</i><br>(0,1282)     | <i>E. grandis</i><br>(0,1290)     | <i>E. saligna</i><br>(0,1320)     |
| 6°                         | Clone 1<br>(0,1241)               | Clone 1<br>(0,1221)               | Clone 1<br>(0,1238)               | Clone 1<br>(0,1243)               | Clone 1<br>(0,1311)               |
| 7°                         | <i>E. pellita</i><br>(0,0984)     | <i>E. pellita</i><br>(0,1061)     | <i>E. pellita</i><br>(0,1069)     | <i>E. pellita</i><br>(0,1057)     | <i>E. pellita</i><br>(0,1106)     |
| 8°                         | <i>C. citriodora</i><br>(0,05884) | <i>C. citriodora</i><br>(0,05888) | <i>C. citriodora</i><br>(0,05815) | <i>C. citriodora</i><br>(0,05944) | <i>C. citriodora</i><br>(0,05506) |
| Índice de coincidência (%) |                                   | 75                                | 75                                | 100                               | 50                                |

A classificação dos materiais genéticos obtida pelo Método da Altura Relativa foi a que apresentou menor índice de coincidência (50%) em relação ao ordenamento obtido com base nos dados da cubagem rigorosa. Este comportamento ficou mais evidente nos materiais que apresentaram maiores diâmetros, pois é possível observar que foram justamente a 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> colocação que não houve coincidência, demonstrando a perda de precisão nas estimativas de volumes para as árvores com maiores diâmetros como relatado por ANDRADE et al.(2006) e ALMEIDA et al.(2010). Vale ressaltar que na seleção de materiais genéticos a baixa precisão das estimativas da variável volume das melhores árvores seria muito prejudicial, já que são estas árvores o foco da seleção no melhoramento florestal.

## 5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados e discutidos é possível concluir que:

- Todos os métodos de estimativa avaliados foram eficientes para estimar o volume individual, no entanto o Método da Altura Relativa foi o que apresentou a maior soma dos resíduos, sendo, portanto o menos eficiente;
- O Método da Altura Relativa apresentou maior erro na estimativa do volume de árvores com maiores diâmetros. Além de uma notável dificuldade de medição do diâmetro na altura relativa por meio do Relascópio de Bitterlich, que acarretou em um erro de medição, influenciando nas estimativas de volume por meio do método;
- Não foi possível utilizar a classificação dos materiais genéticos com base na produção volumétrica individual obtida pelo Método da Altura Relativa para a seleção no programa de melhoramento florestal;
- O Método da Altura Relativa pode vir a apresentar estimativas de volume mais precisas à medida que as medições dos diâmetros na altura relativa sejam feitas com maior acuracidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S. Funções de Forma: sua conceituação e utilidade. In: V SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 1982, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982, p.7-13.

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma do tronco e volume *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 3, p. 37-68, 1981.

ALMEIDA, R. C.; et al. Volumetria de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake pelo método geométrico no planalto da conquista, Bahia. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 1, p. 65-75, 2010.

ANDRADE, V. C. L. **Cubagem de árvores pelo Método da Altura Relativa**. 2006. 152f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ANDRADE, V. C. L. **Um método para descrever o perfil do tronco em árvores de Eucalipto utilizando geometria analítica**. 2001. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ANDRADE, V. C. L.; GALEGARIO, N.; SCOLFORO, J. R. S. Análise de algumas alternativas para obter o coeficiente angular da reta no método da altura relativa. **Revista Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 303-317. 2006.

ANDRADE, V. C. L.; et al. Uso de sólidos geométricos para gerar equações de forma do tronco de árvores em pé. **Scientia Forestales**, v. 37, n. 38, p. 299-311, 2009.

ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Análise do perfil do tronco de árvores utilizando geometria analítica. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 35p. **(Relatório não publicado de iniciação científica sem bolsa de pesquisa (Graduação em Engenharia Florestal))**. Universidade Federal de Viçosa, 1997.

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho, MG**. 1996. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CABACINHA, C. D. **Um método para realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CARVALHO, M. C. C. G. **Caracterização de perfis transicionais de folhas e da região cambial de *Eucalyptus grandis* usando o SAGE**. 2006. 153f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

CISB-CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia do Eucalipto: Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. Piracicaba, 2008, 20p.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equação de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no estado de São Paulo. **IPEF**, n. 37, p. 33-44, 1987.

CUNHA, U. S. Dendrometria e Inventário Florestal. **Série Técnica**. Escola Agrotécnica Federal de Manaus, Manaus. 2004. 61p.

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

FRANCO, E. J.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Eficiência dos métodos para estimativa volumétrica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Revista Cerne**, v. 3, n. 1, p. 82-117, 1997.

GONÇALVES, A. N. **Reversão a juvenildade e clonagem de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake “in vitro”**. 1982. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M.A.P. Progresso genético por meio da seleção de clones de eucalipto em plantios comerciais. **Revista Árvore**, v. 25, n. 3, p. 295-301, 2001.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: Princípios básicos e sua evolução no Brasil. **Circular Técnica IPEF**, n. 192, 2000.

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

JÚNIOR, P. E. J.; STURION, A. J.; RESENDE, V. D. M.; JÚNIOR, R. P. Efeitos da correção de dados na Redução da Heterogeneidade das variâncias Genética, Ambiental e Fenotípica em Testes de Progenies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 51, p.75-107, 2005.

LEITE, H. G.; ANDRADE, L. C. V.; Uso do método da altura relativa em inventário florestal de um povoamento de pinus. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 865-863. 2004.

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

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Guarapuava: UNICENTRO. 2ª Ed, 2006. 316p.

MACHADO, S. A.; et al. Modelagem volumétrica para bragatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 17-29, 2008.

McTAGUE, J. P.; BATISTA, J. L. F.; STEINER, L. H. Equações de volume total, volume comercial e forma do tronco para plantações de *Eucalyptus* nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **IPEF**, n. 41/42, p. 56-63, 1989.

MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S. T. Blake) na região norte do Estado de Goiás.** 2009. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MOURA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** Sociedade Brasileira de Silvicultura. São Paulo, 2000. 114p.

ODA, S.; MENCK, A. L. M.; VENCOVSKY, R. Problemas no melhoramento genético clássico do eucalipto em função da alta intensidade de seleção. **IPEF**, n. 41/42, p. 8-17, 1989.

PÉLLICO NETTO, S. Estimativas volumétricas de árvores individuais, síntese teórica. In: V SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 1982, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982, p. 15-26.

QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **O Eucalipto: Um século no Brasil.** 1ª Ed. São Paulo. Antônio Bellini Editora & Cultura, 2007. 132p.

RESENDE, M. D. V. 2002b. **Software Selegem-REML/BLUP.** Colombo-PR: EMBRAPA/CNPQ, 67p (Embrapa Florestas, Documento 77)

RIO DE JANEIRO. Governo do estado do Rio de Janeiro. **Fórum para o desenvolvimento da região centro-sul fluminense – subsídios para debates e informações gerais.** Rio de Janeiro: Banerj / Jornal do Brasil, 80p, 1992.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.

SCOLFORO, J. R. S., THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal: medição, volumetria e gravimetria.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 285p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 310p.

SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria.** Recife: Imprensa universitária da UFRPE, 1979, 191p.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa: Ed. UFV, 2006. 276p.

THIERSCH, C. R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de *Eucalyptus spp.*** 2002. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R. S; OLIVEIRA, A. D. MAESTRI, R. DEHON, G. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clone de *Eucalyptus sp.* **Revista Cerne**, v. 12, n. 2, p. 167-181, 2006.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDS**, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

## **7. ANEXOS**

## Anexo I: Estatísticas relevantes para a escolha dos modelos.

### Anexo I. 1: Estatísticas relevantes para o modelos de Kopeskay- Gehrardt.

| <i>Estatística de regressão</i> |           |
|---------------------------------|-----------|
| R múltiplo                      | 0,9834101 |
| R-Quadrado                      | 0,9670955 |
| R-Quadrado ajustado             | 0,9662296 |
| Erro padrão                     | 0,0180383 |
| Observações                     | 40        |

#### ANOVA

|           | <i>gl</i> | <i>SQ</i>  | <i>MQ</i> | <i>F</i>   | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Regressão | 1         | 0,36340211 | 0,3634021 | 1116,85604 | 8,78916E-30              |
| Resíduo   | 38        | 0,01236442 | 0,0003254 |            |                          |
| Total     | 39        | 0,37576653 |           |            |                          |

|              | <i>Coefficientes</i> | <i>Erro padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor-P</i> |
|--------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------|
| Interseção   | -0,027095            | 0,00557067         | -4,863786     | 2,0299E-05     |
| Variável X 1 | 0,0008912            | 2,6668E-05         | 33,419396     | 8,7892E-30     |

### Anexo I. 2: Estatísticas relevantes para o modelo de Spurr

| <i>Estatística de regressão</i> |           |
|---------------------------------|-----------|
| R múltiplo                      | 0,9907532 |
| R-Quadrado                      | 0,9815918 |
| R-Quadrado ajustado             | 0,9811074 |
| Erro padrão                     | 0,0134919 |
| Observações                     | 40        |

#### ANOVA

|           | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i>   | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|--------------------------|
| Regressão | 1         | 0,3688494 | 0,368849352 | 2026,3   | 1,4068E-34               |
| Resíduo   | 38        | 0,0069172 | 0,000182031 |          |                          |
| Total     | 39        | 0,3757665 |             |          |                          |

|              | <i>Coefficientes</i> | <i>Erro padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor-P</i> |
|--------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------|
| Interseção   | 0,00049766           | 0,0036321          | 0,137016266   | 0,89174        |
| Variável X 1 | 3,5512E-05           | 7,889E-07          | 45,01442655   | 1,4E-34        |

**Anexo I. 3:** Estatísticas relevantes para o modelo de Schumacher e Hall

| <i>Estatística de regressão</i> |         |
|---------------------------------|---------|
| R múltiplo                      | 0,99516 |
| R-Quadrado                      | 0,99034 |
| R-Quadrado ajustado             | 0,98981 |
| Erro padrão                     | 0,09692 |
| Índice de Furnival              | 0,00906 |
| Observações                     | 40      |

**ANOVA**

|           | <i>gl</i> | <i>SQ</i>  | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|------------|-----------|----------|--------------------------|
| Regressão | 2         | 35,6160521 | 17,808026 | 1895,93  | 5,30838E-38              |
| Resíduo   | 37        | 0,34753301 | 0,0093928 |          |                          |
| Total     | 39        | 35,9635851 |           |          |                          |

|              | <i>Coefficientes</i> | <i>Erro padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor-P</i> |
|--------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------|
| Interseção   | -9,931094            | 0,18787815         | -52,85923     | 1,8543E-36     |
| Variável X 1 | 1,9644935            | 0,09958708         | 19,726389     | 3,15334E-21    |
| Variável X 2 | 0,9256641            | 0,13084322         | 7,0746051     | 2,25528E-08    |