

**Equações Volumétricas por Classe Diamétrica para  
Algumas Espécies Folhosas da Floresta Ombrófila Mista  
no Paraná, Brasil**

**Volume Equations by Diameter Classes for Some Broad-  
Lived Species of the Mixed-Araucaria Forest in Parana  
State, Brazil**

**Kleber dos Santos**

Engenheiro Florestal, Bolsista de Apoio Técnico do CNPq – Conselho Nacional de  
Desenvolvimento Científico e Tecnológico

*klebersa@floresta.ufpr.br*

**Carlos Roberto Sanquetta**

Engenheiro Florestal, Professor do Departamento de Ciências Florestais da  
Universidade Federal do Paraná

*sanqueta@floresta.ufpr.br*

**Rozane de Loyola Eisfield**

Engenheira Florestal, Consultora da Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná

*eisfeld@floresta.ufpr.br*

**Luciano Farinha Watzlawick**

Engenheiro Florestal, Professor do Departamento de Engenharia Florestal da  
Universidade Estadual do Centro-Oeste

*farinha@irati.unicentro.br*

**Marco Aurélio Busch Ziliotto**

Engenheiro Florestal, Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda.

*ecoplan@ecoplan.org.br*

Resumo: O presente estudo foi realizado com o objetivo de testar modelos matemáticos, encontrados na literatura florestal, para volume individual de fuste, com casca, de espécies folhosas nativas da Floresta Ombrófila Mista (*Araucaria angustifolia* não foi utilizada no trabalho). A área de estudo está localizada no Município de General Carneiro, Estado do Paraná, onde foram cubadas espécies nativas providas

de 20 parcelas temporárias de 12x12m (144 m<sup>2</sup>), empregadas para estudos de biomassa e carbono. Através da cubagem rigorosa, da forma relativa (metodologia de Hohenadl), foram obtidos os volumes de fuste, com casca, de 119 árvores (34 espécies) e distribuídas em classes de DAP (diâmetro à altura do peito). As classes diamétricas foram as seguintes: classe 1 - diâmetros inferiores a 15 cm; classe 2 - diâmetros acima de 15 cm e menores de 30 cm; e classe 3 - diâmetros acima de 30 cm. O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o erro padrão da estimativa calculado em percentagem (Syx%) e a análise gráfica dos resíduos foram os critérios utilizados para avaliar os sete modelos testados. Dentre os modelos de melhor ajuste para os grupos de espécies, destacou-se o de Schumacher-Hall como o melhor para a classe 1, tendo obtido um R<sup>2</sup> de 0,9614 e Syx% de 14,69. O modelo matemático de Naslund obteve o melhor comportamento para as classes 2 e 3. Para a classe 2, o modelo conferiu um R<sup>2</sup> de 0,9725 e com um Syx% de 8,88, enquanto na classe 3, o modelo atingiu um R<sup>2</sup> de 0,9943 e seu Syx% foi de 7,16. A análise gráfica de resíduos em função da variável dependente estimada confirmou o bom comportamento dos modelos ajustados ao longo da linha de regressão. Concluiu-se que todos os modelos, exceto o de Husch, que utiliza apenas diâmetro, sem considerar altura do fuste, apresentam boa performance.

**Palavras-chave:** Classes Diamétricas; Espécies Nativas; Floresta de Araucária; Modelo; Regressão.

Abstract: This study aimed at testing mathematical models found in the literature to fit to individual bole volume of broad-leaved species of the Mixed Araucaria Forest (*Araucaria angustifolia* was not used in this study). The study site is located in General Carneiro municipality, southern Paraná State, where trees of various natives species, coming from 20 temporary sample plots of the 12X12m (144 m<sup>2</sup> each), were felled for biomass and carbon research. Rigorous determination of inbark bole volume (Hohenadl relative method) was carried out for 119 trees of 34 species distributed in DBH (diameter at breast height). The diameter classes used were: class 1 – DBH less than 15 cm; class 2 – DBH over 15 cm and less than 30 cm; and class 3 – DBH over 30 cm. The coefficient of determination (R<sup>2</sup>), the standard error of estimate in percentage (Syx%), and the graphical residual analysis were the criteria utilized to judge the best among the seven models tested. The best fitting for the class 1 was obtained by using the Schumacher-Hall model, with R<sup>2</sup> at 0.9614 and Syx% at 14.69. The Naslund model showed the best performance for classes 2 and 3. For the class 2, the fit of the model resulted in a R<sup>2</sup> at 0.9725 and Syx% at 8.88, whereas for class 3, the model fitting gave a R<sup>2</sup> of 0.9943 with Syx% at 7.16. The residual analysis confirmed the goodness of fit of the models along the regression line. It was concluded that six of the seven models tested showed satisfactory performance, except Husch's model, which takes into consideration only DBH (without considering bole height) as independent variable.

**Key words:** Diameter Classes; Native Species; Araucaria Forest; Modeling; Regression.

## 1 Introdução

O uso irracional dos recursos naturais em grande parte do sul do Brasil foi uma prática comum no passado devido à abundância de matérias-primas, à necessidade de abertura de áreas para as atividades econômicas e também pela falta de consciência ambiental. Dentre as formações fitoecológicas encontradas na Região Sul, destaca-se a Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta de Araucária. Mesmo sendo de grande importância em termos de estrutura ecológica, esta floresta apresenta atualmente uma área bastante reduzida no Estado do Paraná e em todo do sul do País. Segundo Sanquetta (2004), os remanescentes da Floresta de Araucária no Paraná se configuram atualmente da seguinte forma: Estágio Inicial – 11,0%; Estágio Médio – 11,4%; Estágio Avançado – 1,3%. A terminologia segue as definições do CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Pizzato (1999) salienta que a atividade madeireira não foi a principal responsável pelo aumento vertiginoso da área desmatada no Paraná, mas sim a implantação da agricultura e sua rápida expansão. O uso de técnicas agrícolas mecanizadas alavancou a queda drástica da cobertura florestal original do Estado. A geração e difusão de conhecimento científico e tecnológico são os instrumentos que possibilitam, de acordo com Sanquetta e Tetto (1999), a conservação dos remanescentes da Floresta de Araucária.

Já Hosokawa (1990) observa que o estudo da vida das plantas e da floresta como um todo fornecerá base científica para uma prática racional da silvicultura, visto que enquanto não se conhecer as características estruturais de uma floresta, não pode ser assegurado o seu aproveitamento ordenado, implicando em conhecer as espécies constituintes, suas exigências ecológicas, quantidades, distribuição e dimensões. Flor (1990) explica que, antes de intervir nas florestas, o homem deve estudá-la e compreender bem seu ecossistema para conseguir evitar seu esgotamento total. Por sua vez, Schaaf (2001) afirma que um sistema de manejo atingirá êxito quando os atributos da floresta forem conhecidos.

Uma das lacunas básicas do conhecimento científico sobre a Floresta de Araucária é sua produtividade primária. Buscando superar este obstáculo, o CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico lançou em 1998 o Programa PELD – Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. Uma das suas bases de observação é a Floresta de Araucária e suas transições, denominado *Site 9*. Essa base reúne pesquisadores com o fito de desenvolver conhecimentos sobre a estrutura, funcionamento e relações ecológicas nesse importante ecossistema (PÉLLICO *et al.*, 2002). Dentre suas prioridades está o desenvolvimento de modelos alométricos para uso em Planos de Manejo, Licenciamento Ambiental, Pesquisas e Projetos de Seqüestro de Carbono. No caso do seqüestro, as equações de volume e biomassa se tornam peças fundamentais, pois se constituem na base para estimativa dos estoques de carbono na vegetação e, conseqüentemente, para o monitoramento dos projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo).

Vários modelos volumétricos já foram testados para espécies da Floresta Ombrófila Mista por muitos autores, mas considerando que os erros em geral são elevados para as espécies nativas folhosas, devido à heterocedasticidade, pois possuem arquiteturas de fuste diferenciadas, se torna interessante o desenvolvimento de equações distintas para classes diamétricas que incluem várias espécies.

Dessa forma, este trabalho científico tem como objetivo testar sete modelos matemáticos, encontrados na literatura florestal, para avaliar o seu ajuste a dados de árvores nativas da Floresta de Araucária, considerando, em separado, três classes diamétricas.

## 2 Material e Método

### 2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados utilizados para desenvolver este trabalho foram originados de 20 parcelas temporárias de 12x12 m (144 m<sup>2</sup>), estabelecidas de forma sistemática, distribuídas nas fazendas de propriedade das Indústrias Pedro N. Pizzatto, localizadas no Município de General Carneiro a 280 km de Curitiba. Este Município se encontra na Região Centro Sul do Paraná, próximo à divisa com o Estado de Santa Catarina. O acesso é realizado através das rodovias BR153 e PR170, respectivamente.

A área total das propriedades contém cerca de 8.500 hectares, onde as fazendas São Pedro I, São Pedro II e Santa Cândida estendem-se entre as coordenadas 26°20'35" e 26°26'13" Lat. S., e 51°19'49" e 51°25'29" Long. W. As coordenadas da Fazenda Lageado Grande são: 26°17'13" e 26°21'09" Lat. S., e 51°34'39" e 51°37'07" Long. W.

O clima da região é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico (Cfb) com verões frescos pela classificação de Köppen, e submontano úmido e muito úmido pela classificação ecológica de Holdridge. A temperatura nos períodos mais frios pode alcançar uma mínima de 10°C negativos e nos períodos quentes temperaturas superiores a 36°C, sendo a média anual entre 15°C a 19°C.

Nessa região, ocorrem solos orgânicos e hidromórficos, menos profundos, menos férteis com predomínio de cambissolos associados com solos litólicos e outras associações com podzólicos e latossólicos, além de solos orgânicos. São solos desenvolvidos na grande parte em rochas sedimentares e magmáticas. Há presença de solos fracos, ácidos, classificados como litólicos eutróficos e com afloramentos rochosos.

A formação vegetal encontrada nas áreas citadas acima corresponde à Floresta Ombrófila Mista. Na área, encontram-se situações distintas de intervenção humana no passado, tipos de solo e microclimas. De modo geral, a fitofisionomia florestal revela o predomínio das araucárias no dossel, com as demais espécies de folhosas em

um estrato inferior, porém ocorrem áreas onde o domínio é da imbuia (*Ocotea porosa*) ou da sapopema (*Sloanea lasiocoma*). Entre as espécies componentes dos estratos inferiores destacam-se as canelas (*Nectandra* spp., *Ocotea* spp.), erva-mate (*Ilex paraguariensis*), pessegueiro-bravo (*Prunus brasiliensis*), bugreiro (*Lithraea brasiliensis*), leiteiro (*Sapium glandulatum*), carne-de-vaca (*Styrax leprosus*), vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*), capororocão (*Myrsine umbellata*), carova (*Jacaranda puberula*) e diversas Mirtáceas, entre outras.

As unidades amostrais encontram-se inseridas nas áreas em regime de manejo sustentado da empresa proprietária, sendo a cobertura florestal caracterizada como floresta primária alterada com diferentes tipos e graus de intervenção humana. Além da colheita da erva-mate no sub-bosque da floresta, pratica-se o manejo racional das espécies nativas, contudo, em função da Resolução nº 278/01 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), as colheitas de madeira da araucária e da imbuia foram temporariamente suspensas.

### 3 Dados Coletados

Foi efetuada uma cubagem rigorosa do tipo relativa, ao longo do fuste do total de 119 árvores que se encontraram distribuídas nas vinte parcelas, sendo tomados em cada fuste, 10 diâmetros em alturas referenciadas pela base da copa, mais seus respectivos diâmetros à altura do peito (DAP), tomados a 1,30 m do solo. Os volumes com casca dos fustes foram calculados através do método de Hohenadl.

As árvores cubadas foram divididas em três classes diamétricas (Tabelas 1, 2 e 3), cada uma destas com diferentes espécies e em diferentes quantidades. Os nomes populares das espécies florestais foram retirados de Reitz et al. (1978), Reitz et al. (1990) e Roderjan et al. (1984). As três classes de diâmetro estão divididas da seguinte forma:

Classe 1 (DAP ≤ 15 cm): 16 espécies - 45 árvores

Classe 2 (DAP > 15 cm e ≤ 30 cm): 22 espécies - 56 árvores

Classe 3 (DAP > 30 cm): 13 espécies - 19 árvores

A divisão em classes de diâmetros teve a finalidade de agrupar árvores com as mesmas características de fuste, em se tratando de diâmetro e altura, diminuindo a amplitude volumétrica entre classes, de forma a obter coeficientes de melhor precisão com a mesma quantidade de dados observados.

Tabela 1. Lista das árvores cubadas, pertencentes à classe 1, com DAP igual ou inferior a 15 cm

Nome Científico	Nome Popular	Família	Nº de árvores
<i>Allophyllus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	3
<i>Myrcia</i> sp.	Guamirim	Mirtaceae	6
<i>Calyptranthes concinna</i>	guamirim-ferro	Mirtaceae	1
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Guabiroba	Myrtaceae	1
<i>Ocotea pulchella</i>	canela-lageana	Lauraceae	1
<i>Sapium glandulatum</i>	Leiteiro	Euphorbiaceae	1
<i>Ilex microdonta</i>	congonha, caúna-da-folha-miúda	Aquifoliaceae	3
<i>Ilex paraguariensis</i>	erva-mate	Aquifoliaceae	8
<i>Litbraea brasiliensis</i>	Bugreiro	Ancardiaceae	1
<i>Casearia decandra</i>	Guaçatunga	Flacourtiaceae	2
<i>Symplocus uniflora</i>	sete-sangria, congonha-miúda	Symplocaceae	2
<i>Symplocus celastrina</i>	orelha-de-onça, pau-de-cangalho	Symplocaceae	1
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	branquilha, branquinho	Euphorbiaceae	1
<i>Styrax oleprosus</i>	carne-de-vaca, cajuja	Styracaceae	4
<i>Myrsine umbellata</i>	capororocão, capororoca	Myrsinaceae	8
<i>Ocotea porosa</i>	Imbuia	Lauraceae	2
Total			45

#### 4 Modelos Testados

Foram testados sete modelos matemáticos encontrados na literatura florestal (Tabela 4). As três classes de diâmetros passaram pelo ajuste de cada um dos modelos no software *Excel* versão 2000, obtendo assim, os coeficientes de regressão, os parâmetros estatísticos de comparação entre os modelos para cada classe de diâmetro e suas análises de resíduos.

Os modelos matemáticos utilizam como variáveis independentes à altura de fuste ( $h$ ) e os diâmetros tomados à altura do peito (DAP ou  $d$ ), de forma a obter a variável dependente volume ( $v$ ) em  $m^3$  com casca. O modelo 4 é a única equação de simples entrada (utiliza somente o DAP como variável independente), enquanto que os demais modelos são de dupla entrada (usam DAP e altura).

#### 5 Seleção do Modelo Matemático

Para seleção do melhor modelo foram observados os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ); erro padrão da estimativa em  $m^3$  ( $Syx$ ) e em percentagem ( $Syx\%$ ), recalculados para as equações onde a variável dependente sofreu transformações, além da análise gráfica dos resíduos.

De acordo com Machado (2002), o  $R^2$  expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de um for o valor de  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste. Para o recálculo do  $R^2$  utiliza-se a seguinte formulação matemática:

$$R^2 = 1 - \frac{(n-1)}{(n-p)} \times \frac{(SQ_{res})}{(SQ_{total})}$$

em que:  $R^2$  = coeficiente de determinação ajustado;  $SQ_{res}$  = soma dos quadrados dos resíduos;  $SQ_{total}$  = soma dos quadrados do total;  $n$  = número de dados; e  $p$  = coeficientes de cada modelo utilizado.

O  $Syx$  tem a mesma unidade do parâmetro pesquisado ( $m^3$ ), demonstrando a dispersão média entre os volumes observados e os volumes estimados, onde quanto mais baixo for o  $Syx\%$ , melhor o ajuste. Para o recálculo do  $Syx$ , procede-se da seguinte forma:

$$Syx_{recalculado} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (vobs - vest)^2}{n - p}}$$

em que:  $Syx$  = erro padrão da estimativa ( $m^3$ );  $vobs$  = volume observado ( $m^3$ );  $vest$  = volume estimado ( $m^3$ );  $n$  = número de dados; e  $p$  = coeficientes de cada modelo utilizado.

Tabela 2. Lista das árvores cubadas, pertencentes à classe 2, com DAP maior que 15 cm e menor ou igual a 30cm

Nome Científico	Nome Popular	Família	Nº de árvores
<i>Allophyllus edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	1
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	vassourão-branco	Compositae	8
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	Aquifoliaceae	3
<i>Myrcia</i> sp.	Guamirim	Mirtaceae	2
<i>Calyptranthes concinna</i>	guamirim-ferro	Mirtaceae	1
<i>Ocotea puberula</i>	canela-guaicá	Lauraceae	2
<i>Nectandra megapotamica</i>	canela-imbuia	Lauraceae	1
<i>Sapium glandulatum</i>	Leiteiro	Euphorbiaceae	6
<i>Ilex dumosa</i>	cauninha, caúna, erva-piriquita	Aquifoliaceae	3
<i>Ilex paraguariensis</i>	erva-mate	Aquifoliaceae	3
<i>Lithraea brasiliensis</i>	Bugreiro	Ancardiaceae	2
<i>Xylosma</i> cf. <i>pseudosalzmanni</i>	açucará, sucará	Flacourtiaceae	1
<i>Baccharis</i> cf. <i>organensis</i>	Vassoura	Asteraceae	1
<i>Casearia decandra</i>	Guaçatunga	Flacourtiaceae	1

<i>Symplocus uniflora</i>	sete-sangria, congonha-miúda	Symplocaceae	2
<i>Matayba elaeagnoides</i>	cambotã, miguel-pintado	Sapindaceae	2
<i>Jacaranda puberula</i>	carova, carovinha	Bignoniaceae	1
<i>Sebastiania commersoniana</i>	branquilha, braquinho	Euphorbiaceae	1
<i>Styrax oleprosus</i>	carne-de-vaca, cajuja	Styracaceae	4
<i>Myrsine umbellata</i>	capororocão, capororoca	Myrsinaceae	7
<i>Ilex theezans</i>	Congonha	Aquifoliaceae	1
<i>Ocotea porosa</i>	Imbuia	Lauraceae	3
Total			56

Tabela 3. Lista das árvores cubadas, pertencentes à classe 3, com DAP maior que 30 cm

Nome Científico	Nome Popular	Família	Nº de árvores
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	Aquifoliaceae	1
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Guabiroba	Myrtaceae	2
<i>Ocotea puberula</i>	canela-guaicá	Lauraceae	1
<i>Ocotea pulchella</i>	canela-lageana	Lauraceae	1
<i>Persea major</i>	pau-andrade	Lauraceae	1
<i>Nectrandia megapotamica</i>	canela-imbuia	Lauraceae	2
<i>Prunus brasiliensis</i>	pessegueiro-bravo	Rosaceae	1
<i>Jacaranda puberula</i>	carova, carovinha	Bignoniaceae	1
<i>Cupania vernalis</i>	camboatã, cuvã	Sapindaceae	1
<i>Quilaja brasiliensis</i>	timbaúva, pau-sabão	Rosaceae	1
<i>Sloanea lasiocoma</i>	sapopema, alecrim	Elaeocarpaceae	1
<i>Myrsine umbellata</i>	capororocão, capororoca	Myrsinaceae	1
<i>Ocotea porosa</i>	Imbuia	Lauraceae	5
Total			19

Para as equações em que a variável dependente sofreu algum tipo de transformação logarítmica, antes de proceder ao recálculo, multiplicou-se o volume estimado pelo fator de correção de Meyer:

$$\text{Fator de Meyer} = e^{0,5 S_{yx}^2}$$

Em que:  $e = 2,718281828$  e  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa ( $m^3$ ).

Para considerar uma equação como a de melhor ajuste, analisou-se os resultados conjuntos do coeficiente de determinação, do erro padrão da estimativa e da análise gráfica de resíduos.

Draper e Smith (1966) utilizam os resíduos na forma relativa (percentagem), em função da variável dependente estimada, considerando esta forma de análise



gráfica como a mais adequada para se ter melhor noção da dimensão das sub e super estimativas do valor real e comparar os diversos modelos ajustados. Assim, utilizou-se tal procedimento neste estudo.

Tabela 4. Modelos matemáticos testados neste estudo

Nº	Modelo	Formulação matemática
1	Naslund	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 (d^2 h) + \beta_3 (d h^2) + \beta_4 h^2$
2	Schumacher - Hall	$\text{Ln } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } d + \beta_2 \text{Ln } h$
3	Spurr - variável combinada	$v = \beta_0 + \beta_1 (d^2 h)$
4	Husch	$\text{Ln } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } d$
5	Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 + \beta_4 (d^2 h) + \beta_5 (d h)$
6	Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 d^2 + \beta_3 (d^2 h)$
7	Spurr	$\text{Ln } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } (d^2 h)$

Onde:  $v$  ( $\text{m}^3$ ),  $d$  (cm) e  $h$  (m)

## 6 Resultados e Discussão

### 6.1 Indicadores gerais de ajuste

A tabela 5 apresenta os resultados da análise de regressão dos sete modelos testados. Conforme demonstrado na tabela, seis dos sete modelos apresentaram bons ajustes. O modelo de Husch, que é único modelo de simples entrada, foi o único que apresentou resultados insatisfatórios.

Observou-se, nas três classes diamétricas, que todos os outros modelos obtiveram um alto desempenho com relação ao  $R^2$ , variando de 0,9099 (classe 1, modelo de Spurr – variável combinada) a 0,9943 (classe 3, modelo de Naslund). Todos os modelos, nas três classes, apresentaram erros padrões da estimativa inferiores a 16%, sendo considerados aceitáveis, excetuando o modelo de Husch, que oscilou entre 30 e 40%.

Os gráficos de resíduos são de grande utilidade na validação de uma equação estimativa, critério este que não deve ser observado isoladamente, mas sim aliado aos dados do  $R^2$  e do  $\text{Syx}\%$ , de forma a verificar o comportamento do modelo matemático em toda a linha de regressão.

Para as árvores com DAP inferiores a 15 cm (classe 1), o modelo matemático de Schumacher-Hall obteve melhor ajuste, tendo um  $R^2$  de 0,96141 e com o  $\text{Syx}\%$  de 14,69. A equação resultante é a seguinte:

$$\text{Ln } v = -8,87590982 + 1,892218745 \text{Ln } d + 0,739037687 \text{Ln } h$$

O conjunto de espécies para a 2ª classe diamétrica teve o melhor ajuste com a equação de Naslund, tendo entre os modelos testados, o segundo melhor R<sup>2</sup> calculado em 0,9725 e com o menor Syx%, que é de 8,8. A equação resultante apresenta-se da seguinte forma:

$$v = -0,01295354 + 0,00007636 \text{ d2h} - 0,000102192 \text{ d2h} + 0,001340984 \text{ h}^2$$

As espécies estudadas com DAP superiores a 30 cm aferiram o modelo de Naslund como o de melhor ajuste, com o R<sup>2</sup> de 0,9943 e Syx% de 7,16. Segue abaixo a equação com seus coeficientes ajustados para o grupo de espécies da classe 3:

$$v = 0,0190137 - 0,00027165 \text{ d2h} - 0,000993724 \text{ d2h} + 0,023021323 \text{ h}^2$$

É importante destacar que a separação das três classes teve a finalidade de gerar modelos precisos e confiáveis. Tentativas iniciais de gerar equações com todas as árvores, sem separá-las em classes, foram mal sucedidas. Portanto, reforça-se a necessidade de se desenvolver modelos separando-as as distintas classes, o que foi o alvo maior deste estudo.

*Tabela 5. Resultados da análise de regressão para o sete modelos testados*

<b>Classe 1</b>				
<b>Nº</b>	<b>Modelo</b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>Syx</b>	<b>Syx%</b>
1	Naslund	0,9227	0,00719	14,61
2	Schumacher – Hall	0,9614	0,00723	14,69
3	Spurr - variável combinada	0,9099	0,00777	15,78
4	Husch	0,7171	0,01673	33,99
5	Meyer	0,9211	0,00727	14,76
6	Stoate	0,9238	0,00714	14,51
7	Spurr	0,9543	0,00747	15,18
<b>Classe 2</b>				
<b>Nº</b>	<b>Modelo</b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>Syx</b>	<b>Syx%</b>
1	Naslund	0,9725	0,01847	8,88
2	Schumacher – Hall	0,9793	0,02083	10,01
3	Spurr - variável combinada	0,9311	0,02924	14,05
4	Husch	0,6223	0,07033	33,79
5	Meyer	0,9634	0,02133	10,25
6	Stoate	0,9648	0,02092	10,05
7	Spurr	0,9587	0,02720	13,07

Classe 3				
Nº	Modelo	R <sup>2</sup> ajustado	Syx	Syx%
1	Naslund	0,9943	0,09143	7,16
2	Schumacher – Hall	0,9767	0,15580	12,19
3	Spurr - variável combinada	0,9809	0,16791	13,14
4	Husch	0,8397	0,50110	39,22
5	Meyer	0,9825	0,16080	12,59
6	Stoate	0,9838	0,15442	12,09
7	Spurr	0,9772	0,16565	12,97

#### Análise gráfica de resíduos

Para cada uma das três classes diamétricas foram selecionados quatro modelos (de acordo com os melhores R<sup>2</sup> e Syx%) para efetuar a análise gráfica de resíduos. Um modelo matemático pode realmente ser indicado após ser verificado se existe a ocorrência ou não de um comportamento tendencioso dos coeficientes sobre toda a linha de regressão. Apesar de ser uma avaliação subjetiva, deve constar em qualquer tipo de estudo desta natureza.

As figuras 1, 2 e 3 apresentam a análise gráfica de resíduos das equações escolhidas para as classes 1, 2 e 3 respectivamente. Pode ser verificado o bom comportamento das equações validadas, sendo consideradas aceitáveis, em se tratando de espécies ocorrentes em uma formação florestal natural.

Figura 1. Gráficos de dispersão de resíduos em percentual para os melhores modelos da classe 1

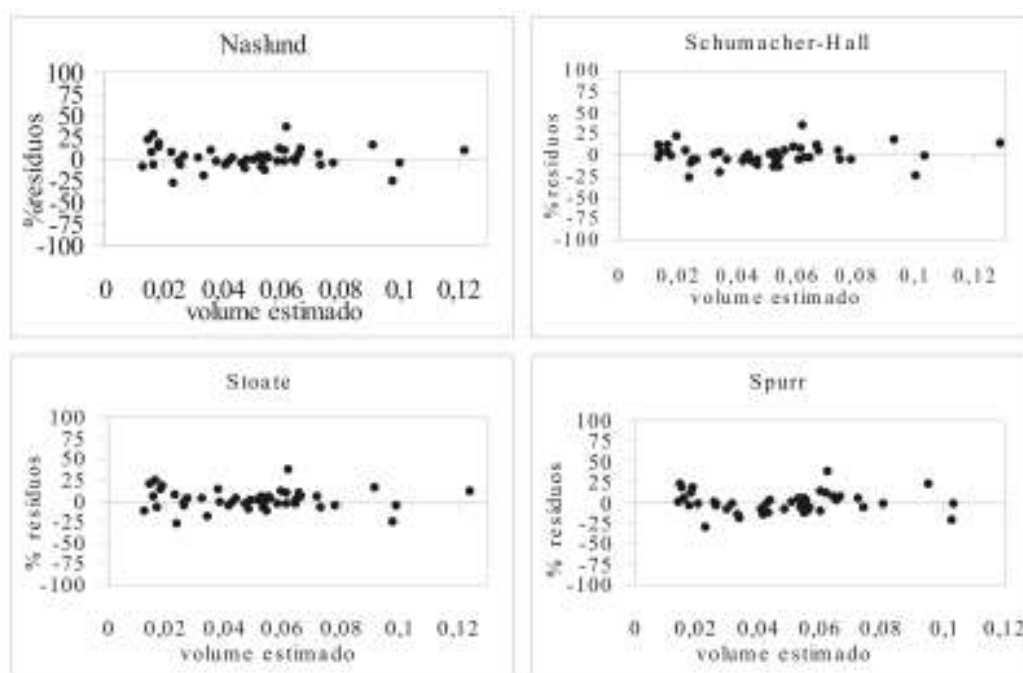


Figura 2. Gráficos de dispersão de resíduos em percentual para os melhores modelos da classe 2

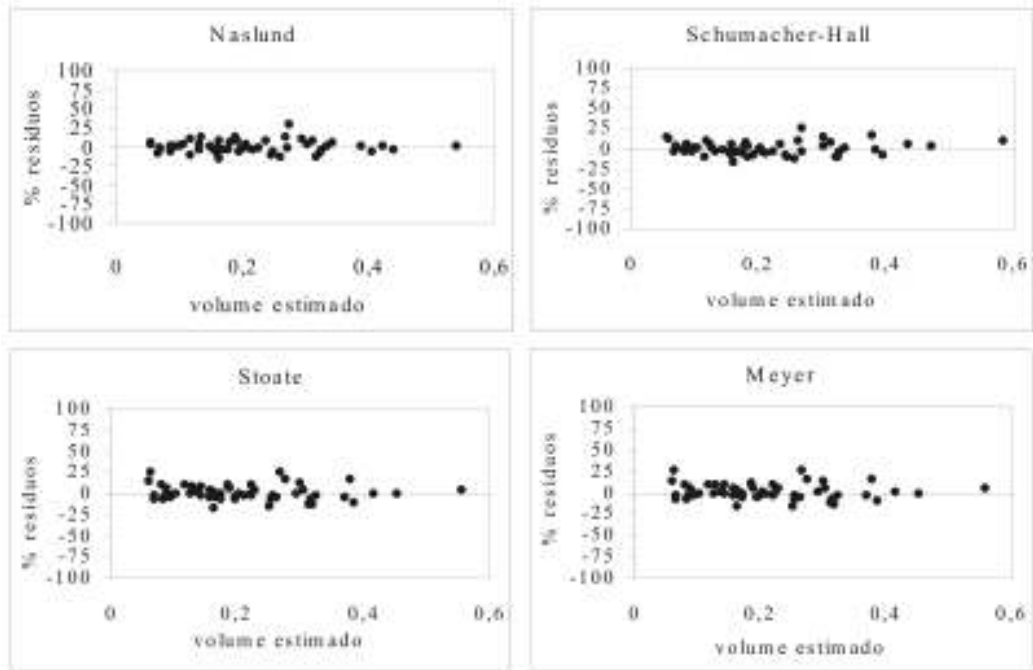
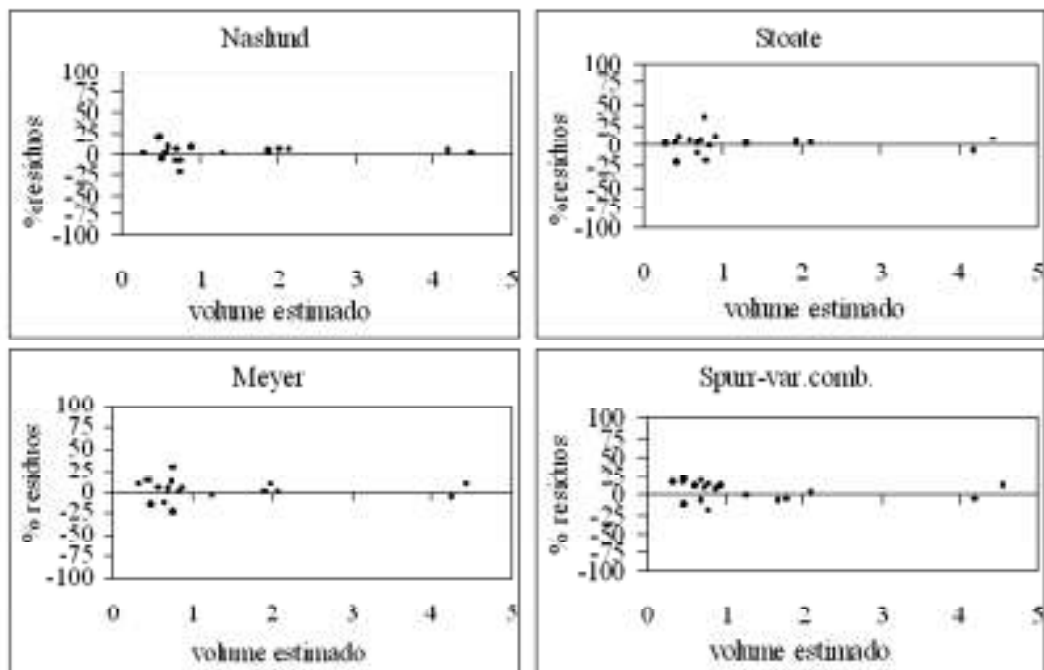


Figura 3. Gráficos de dispersão de resíduos em percentual para os melhores modelos da classe 3



## 7 Conclusões

A análise realizada neste estudo permite concluir o seguinte:

Todos os modelos de volume testados, excetuando-se o de Husch, ajustaram-se bem aos dados observados, com valores elevados de  $R^2$ , baixos erros ( $S_{yx}\%$ ) sem tendências, conforme também demonstrado pela análise gráfica de resíduos.

A separação das árvores em classes diamétricas é fundamental para gerar modelos com estimativas de menor viés.

As três equações geradas são recomendadas para estimar volume do fuste das espécies em questão, quando consideradas em conjunto, sendo úteis para Planos de Manejo, Licenciamento Ambiental, Pesquisas e Projetos de Seqüestro de Carbono.

## 8 Referências

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley e Sons, 407 p. 1966.

FLOR, H. M. **Manejo silvicultural de florestas nativas**. Curso de Manejo Florestal; Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – ABAS. 93p. 1990.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Editora da UFPR. 162p. 1998.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. **Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 4, nº 2, jul/dez. p.185-197. 2002.

PÉLLICO, S. P.; SANQUETTA, C. R.; BRENA, D. A. **A floresta de araucária e transições**. In: Os sites e o programa brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração. Belo Horizonte, 2002, p. 167-184.

PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo**. Curitiba, Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 1999. (Dissertação de Mestrado).

REITZ, R.; KILEN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira de Santa Catarina**. Santa Catarina: SUDESUL. IBDF. 320p. 1978.

REITZ, R.; KILEN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Rio Grande do Sul: SUDESUL. IBDF. 524p. 1990

RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF. 1984.

SANQUETTA, C. R. Os números atuais sobre a cobertura florestal no Brasil. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 01 agosto 2004.

SANQUETTA, C. R.; TETTO, A. F. **Pinheiro do Paraná: lendas e realidades**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 112p. 1999.

SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período de 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Paraná**. Curitiba, Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 119p. 2001. (Dissertação de Mestrado).