

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**INCREMENTO VOLUMÉTRICO DE *Nectandra
megapotamica* (Spreng.) Mez EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Luis Henrique da Silva Souza

**Santa Maria, RS, Brasil
2005**

**INCREMENTO VOLUMÉTRICO DE *Nectandra megapotamica*
(Spreng.) Mez EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.**

por

Luis Henrique da Silva Souza

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**INCREMENTO VOLUMÉTRICO DE *Nectandra megapotamica* (Spreng.)
Mez EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.**

elaborada por
Luis Henrique da Silva Souza

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

César Augusto Guimarães Finger, Prof. Dr.
(Presidente/Orientador)

Luciano Weber Scheeren, Eng^o Florestal Dr. (Ministério Público/RS)

Ivanor Muller, Prof. Dr. (UFSM/RS)

Frederico Dimas Fleig, Prof. Dr. (UDESC/SC)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2005.

AGRADECIMENTOS

Ao final deste trabalho, cabe, neste momento, agradecer àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização do mesmo:

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, por promover meu aperfeiçoamento profissional e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador Prof. Dr. César A. Guimarães Finger pelo incentivo e sabedoria transmitidos durante nosso convívio e ao co-orientador Prof. Dr. Paulo Renato Schneider que sempre soube, com grande sapiência, ensinar a arte da engenharia florestal;

Ao PELD, Programa Ecológico de Longa Duração, na pessoa do Prof. Dr. Doádi A. Brena que disponibilizou o local para realização deste estudo, bem como, transporte e acomodações;

Ao colega Geedre Borsoi e ao funcionário Jorge Luiz Puhales, que de forma dedicada e divertida, participaram do procedimento de corte das árvores, bem como à aluna de graduação, Juliana Prevedello pela ajuda concedida nas análises de tronco;

Aos meus pais, Wilceu e Maria Terezinha, e meu irmão, José Ricardo, agradeço pelo incentivo, dedicação, amor e confiança transmitidos a mim ao longo de nossas vidas;

Com muito amor e carinho, agradeço à minha esposa Katiuschia e ao nosso filho Luis Arthur pela família maravilhosa que somos, acolhendo-me sempre com sorrisos e compreensão nos momentos difíceis.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

INCREMENTO VOLUMÉTRICO DE *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.

AUTOR: LUIS HENRIQUE DA SILVA SOUZA
ORIENTADOR: PROF. DR. CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2005.

No presente trabalho, foi estudado o crescimento da espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez através de uma amostra composta por 11 árvores dominantes, selecionadas em Floresta Ombrófila Mista, no município de Nova Prata-RS. O crescimento das árvores amostradas pôde ser reconstituído com sucesso por meio da análise de tronco, determinando-se a tendência do crescimento em volume percentual ao longo do tempo, para as árvores selecionadas. O modelo matemático que melhor representou a tendência de crescimento em volume percentual foi descrito como $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap})^2$, ajustado por árvore individual. A análise de covariância possibilitou a formação de três grupos contendo árvores com tendência decrescente semelhantes entre si, em relação à tendência e nível das curvas. Tornou-se possível descrever estas variações com modelos matemáticos utilizando-se variáveis independentes de morfometria, concorrência e ambientais, das árvores estudadas, pelas expressões: $b_1 = 0,41738583 + 4,16179208 \cdot i_{d5} - 6,29332107 \cdot h/d + 0,37822636 \cdot \text{EXPOS} - 0,11519372 \cdot I_r + 5,80418708 \cdot \text{BALcor} - 0,06858050 \cdot \text{Lc}$, com coeficiente de determinação ajustado igual a 0,9979 e coeficiente de variação de -1,73%, bem como as diferenças entre níveis das curvas pela equação $b_0 = 2,62465943 - 13,37023979 \cdot i_{d5} + 22,08329412 \cdot h/d - 1,33160878 \cdot \text{EXPOS} + 0,34688547 \cdot I_r - 23,88899208 \cdot \text{BALcor} + 0,25692291 \cdot \text{Lc}$, com coeficiente de determinação ajustado de 0,9907 e coeficiente de variação igual a 2,71%.

Palavras-chaves: *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, Canela preta, Crescimento, Dendrocronologia, Análise de tronco.

ABSTRACT

Master Dissertation
Pos Graduation program on Forest Engineer
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

INCREMENTO VOLUMÉTRICO DE *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.

AUTHOR: LUIS HENRIQUE DA SILVA SOUZA
ADVISOR: PROF. DR. CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER
Date and place of defense: Santa Maria, February 28, 2005.

At the present work it was studied growing of *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez species, through a sampler compounded by 11 dominant trees selected from rainforest in Nova Prata borough, state of Rio Grande do Sul. The growth of the sampler trees can be give up successfully through stem analysis determ the growth trend in percentual volume along time, for the selected trees. The mathematical model better represents the growth trend in percentual volume was described as $i_v\%=(b_0+b_1.\ln \text{dap})^2$, fitting individually per tree. Covariance analysis earn possible to cluster three groups, contends trees with decreasing trend were similar in relationship to trend and curves level, being possible to describe this variations with mathematical models using independent factors, as: morphometry, competition and environmental from the trees in case, by expressions : $b_1 = 0,41738583 + 4,16179208.i_{d5} - 6,29332107.h/d + 0,37822636.EXPOS - 0,11519372.I_r + 5,80418708.BALcor - 0,06858050.Lc$, with determination coefficient equal to 0,9979 and variation coefficient of -1,73%, as well as the differences between curves levels by equation $b_0 = 2,62465943 - 13,37023979.i_{d5} + 22,08329412.h/d - 1,33160878.EXPOS + 0,34688547.I_r - 23,88899208.BALcor + 0,25692291.Lc$, with determination coefficient fitting on 0,9907 and variation coefficient of 2,71%.

Key-words: *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, Canela preta, Growth, Dendro-chronology, Stem Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Localização da área de estudo.	20
FIGURA 2: Área de amostragem das condições ambientais, por árvore-amostra.	22
FIGURA 3 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 1.	39
FIGURA 4 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 2.	39
FIGURA 5 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 3.	41
FIGURA 6 - Perfil longitudinal da árvore 3.	41
FIGURA 7 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 4.	42
FIGURA 8 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 5.	43
FIGURA 9 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 6.	43
FIGURA 10 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 7.	44
FIGURA 11 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 8.	44
FIGURA 12 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 9.	45
FIGURA 13 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 10.	45
FIGURA 14 - Estudo retrospectivo do $i_{v\%}$ para a árvore 11.	46
FIGURA 15 - Valores ajustados de incremento volumétrico percentual em função do diâmetro, por árvore-amostra.	50
FIGURA 16 - Tendência de crescimento em volume percentual para as árvores 1, 9 e 10 (Grupo I).	52
FIGURA 17 - Tendência de crescimento em volume percentual para as árvores 2, 4, 7 e 8 (Grupo II).	53
FIGURA 18 - Tendência de crescimento em volume percentual para as árvores 3, 5, 6 e 11 (Grupo III).	53
FIGURA 19 - Gráfico de distribuição de resíduos para modelagem do coeficiente b_1	58
FIGURA 20 - Distribuição de resíduos para modelagem do coeficiente b_0	60
FIGURA 21 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 1.	61
FIGURA 22 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 2.	61
FIGURA 23 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 3.	61
FIGURA 24 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 4.	62
FIGURA 25 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 5.	62
FIGURA 26 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 6.	63
FIGURA 27 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 7.	63
FIGURA 28 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 8.	63
FIGURA 29 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 9.	64

FIGURA 30 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 10.	64
FIGURA 31 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 11.	65
FIGURA 32 - Correlação entre as variáveis b_1 e i_{d5} para o conjunto das árvores amostradas.	66
FIGURA 33 - Influência da variável i_{d5} na estimativa do incremento volumétrico percentual.	66
FIGURA 34 - Correlação entre as variáveis b_1 e h/d para o conjunto das árvores amostradas.	67
FIGURA 35 - Influência da variável h/d na estimativa do incremento volumétrico percentual.	67
FIGURA 36 - Correlação entre as variáveis b_1 e EXPOS para o conjunto das árvores amostradas.	68
FIGURA 37 - Influência da variável EXPOS na estimativa do incremento volumétrico percentual.	69
FIGURA 38 - Correlação entre as variáveis b_1 e I_r para o conjunto das árvores amostradas.	69
FIGURA 39 - Influência da variável I_r na estimativa do incremento volumétrico percentual.	70
FIGURA 40 - Correlação entre as variáveis b_1 e BALcor para o conjunto das árvores amostradas.	70
FIGURA 41 - Influência da variável BALcor na estimativa do incremento volumétrico percentual.	71
FIGURA 42 - Correlação entre as variáveis b_1 e L_c para o conjunto das árvores amostradas.	72
FIGURA 43 - Influência da variável L_c na estimativa do incremento volumétrico percentual.	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Transformação de variáveis para ajuste da função de $i_{v\%}$	30
TABELA 2 - Caracterização das árvores de <i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez selecionadas para estudo de crescimento.....	33
TABELA 3 - Dimensão e condições ambientais das unidades amostrais, por árvore-amostra.	34
TABELA 4 - Variáveis morfométricas das árvores amostradas da espécie <i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez.....	35
TABELA 5 - Estimativas de competição entre árvores, por unidade amostral.....	37
TABELA 6 - Relação entre os índices de concorrência e a área da unidade amostral.	37
TABELA 7 - Análise de Correlação de Pearson entre variáveis dependentes e independentes para modelagem do $i_{v\%}$	47
TABELA 8 - Comparação estatística do ajuste dos modelos de $i_{v\%}$	48
TABELA 9 - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação para o conjunto das árvores selecionadas.....	51
TABELA 10 - Resultado da análise de covariância para diferença de inclinação entre as árvores selecionadas de <i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez.....	52
TABELA 11 - Resultado da análise de covariância para diferença de nível entre as árvores selecionadas de <i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez.	54
TABELA 12 - Análise de correlação entre os coeficientes b_0 e b_1 e variáveis morfométricas, ambientais e de competição, das árvores selecionadas.....	55
TABELA 13 - Resumo do procedimento forward para a modelagem do coeficiente b_1 gerado pela função $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln(dap))^2$, por árvore-amostra.....	57
TABELA 14 - Resumo do procedimento forward para a modelagem do coeficiente b_0 gerado pela função $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln(dap))^2$, por árvore-amostra.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Local de coleta dos dados	19
3.2	Clima	21
3.3	Solos.....	21
3.4	Escolha da espécie	21
3.5	Obtenção dos dados.....	21
3.5.1	Variáveis mensuradas	23
3.5.2	Variáveis calculadas	25
3.5.2.1	Variáveis morfométricas.....	25
3.5.2.2	Variáveis de concorrência.....	26
3.5.2.3	Incremento percentual em volume ($i_v\%$)	28
3.5.2.4	Variáveis independentes i_{d10} , i_{d5} e i_{d2}	29
3.5.3	Ajuste da equação para $i_v\%$	29
3.5.4	Análise de covariância do $i_v\%$	31
3.5.5	Modelagem dos coeficientes da função de $i_v\%$	31
3.5.6	Precisão dos modelos de b_0 e b_1	32
3.5.7	Estudo das variáveis dos modelos b_0 e b_1	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1	Caracterização das árvores	33
4.2	Unidades amostrais	34
4.3	Variáveis morfométricas	35
4.4	Variáveis de competição	36
4.5	Incremento Volumétrico Percentual ($i_v\%$).....	38
4.6	Ajuste da equação de regressão para $i_v\%$	47
4.7	Análise de covariância do $i_v\%$	50
4.8	Modelagem dos coeficientes da função de $i_v\%$	55
4.8.1	Análise de correlação de Pearson	55
4.8.2	Ajuste e avaliação da precisão dos modelos de b_0 e b_1	56

4.8.3	Estudo das variáveis dos modelos b_0 e b_1	65
5	CONCLUSÕES.....	73
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

O homem utiliza a floresta como fornecedora de matéria-prima desde tempos remotos, tendo esta desempenhado, nas mais diversas épocas, importante papel no desenvolvimento econômico e social dos povos.

A baixa produtividade atual, em quantidade e qualidade, das florestas multiêneas, contrasta com a crescente demanda de produtos de origem florestal decorrente principalmente do aumento populacional aliado à necessidade de produzir energia e bens materiais a custos baixos. Esta situação tem levado pesquisadores a desenvolver tecnologias que busquem melhores aproveitamentos da produção florestal, objetivando evitar que o aumento da oferta ocorra através do uso indiscriminado dos ecossistemas naturais.

A vegetação do Rio Grande do Sul encontra-se profundamente alterada. A causa disso, deve-se, principalmente, à derrubada da floresta para o avanço da fronteira agrícola, a qual, juntamente com a exploração intensiva de espécies madeiráveis, reduziu os maciços florestais a florestas fragmentadas.

Pouco se sabe sobre a história da dinâmica de crescimento dos fragmentos florestais remanescentes nativos do Rio Grande do Sul, perdendo-se, assim, valiosas e indispensáveis informações para o planejamento racional desses recursos.

Uma das alternativas para a reconstituição do crescimento desses indivíduos arbóreos e, em contrapartida das florestas, consiste na aplicação da técnica de análise de tronco, que permite a investigação do desenvolvimento passado, em espécies nas quais haja a formação de anéis de crescimento diferenciáveis e representativos da produtividade anual da árvore.

À medida que o tempo foi passando, novas tecnologias foram sendo desenvolvidas, e equipamentos avançados, que auxiliam na melhor visualização e identificação de anéis de crescimento, foram descobertos.

Por isso, neste momento, a utilização dessa técnica nos permite investigar, de forma rápida e com precisão, a dinâmica das principais variáveis de interesse para o silvicultor, a fim de melhor conhecer o comportamento silvicultural de tais espécies.

A análise de tronco, porém, permite conhecer e descrever o crescimento passado da árvore, sem contudo informar sobre o ambiente em que o crescimento ocorreu. Assim não são conhecidas as condições ambientais que agem de forma direta no desenvolvimento das espécies, dentre elas, a competição. Neste caso, a aplicação da técnica de inventário florestal

em múltiplas ocasiões poderá trazer benefícios quanto ao acompanhamento do crescimento desses indivíduos.

A partir de determinações deste nível, pode-se planejar a aplicação de métodos de manejo sustentado que, aperfeiçoados há mais de dois séculos na Europa com estudos sobre potencial de crescimento das espécies, alcancem a perpetuidade de produção em quantidade e qualidade da madeira; bem como dos produtos não madeiráveis disponibilizados pela floresta.

A utilização de modelos silviculturais de manejo em florestas com diversidade de espécies e idades, como é o caso do regime de manejo jardinado, resultam em maior qualidade e estabilidade ambiental, pois, baseados em princípios econômicos, buscam as sustentabilidades da produção, ecológica e, fundamentalmente, econômica no uso dos recursos florestais.

O estado do Rio Grande do Sul, inserido nesta tendência, quando legisla sobre o manejo de suas florestas, preconiza a utilização deste regime. Contudo, faltam, para implantá-lo, informações sobre a dinâmica de crescimento das espécies, assim como das florestas, o que dificulta o planejamento florestal.

Uma vez implantada a técnica de manejo sustentado nas florestas nativas do estado, estará assegurada a viabilidade, tanto técnica quanto econômica, na utilização racional dos recursos florestais, gerando benefícios sociais e ambientais.

Estudos como este foram realizados por Finger *et al.* (1996), Esber (2003), Tonini *et al.* (2003). Nestes trabalhos, observa-se a viabilidade do emprego da análise de tronco para esse fim; os autores, entretanto, limitaram-se a descrever o crescimento e outras variáveis dendrométricas das árvores estudadas sem, contudo, investigar a causa do polimorfismo desenvolvido nas curvas ajustadas para as árvores investigadas.

Devido a isso, a realização deste trabalho teve como propósito contribuir com este cenário, estudando o crescimento da espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez em Floresta Estacional Ombrófila Mista, com os seguintes objetivos específicos:

- 1) Estudar o incremento corrente percentual em volume de árvores individuais de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez através da análise de tronco;
- 2) Ajustar modelos de regressão que possam explicar a tendência do crescimento em volume percentual, por árvore individual;
- 3) Estudar os modelos ajustados quanto à inclinação e ao nível das curvas, agrupando-os conforme a semelhança; e
- 4) Descrever a inclinação e o nível das curvas de regressão em função de variáveis de fácil determinação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Qualquer povo, em qualquer ponto da Terra, em época remota ou não, teve seu desenvolvimento alicerçado no aproveitamento dos recursos naturais. Dentre eles, as árvores foram e continuam sendo a grande reserva econômica do desenvolvimento social dos povos (Finger, 1995).

Segundo o autor, apesar da grande área florestal com que muitos países foram agraciados, o consumo desordenado, o desperdício, ou simplesmente a substituição das florestas por atividades agropastoris levaram a sua exaustão já em épocas remotas, forçando os governantes ao confisco, à restrição e à regulamentação do corte de árvores. Exemplifica que, já no ano de 1500, a Áustria, impôs medidas restritivas, proibindo o corte de árvores sem permissão oficial, deixar a madeira apodrecer, cortar as árvores jovens e deixar animais domésticos em florestas jovens, em virtude dos danos que causam à regeneração natural das árvores, comprometendo seu desenvolvimento e qualidade.

Estas e outras medidas, juntamente com a certeza da necessidade de madeira no futuro, não garantiram, por si só, o seu abastecimento. Neste sentido, Schneider & Finger (2000) comentam que o grande passo foi dado com o desenvolvimento da idéia de sustentabilidade, formulada e desenvolvida por engenheiros florestais já no início do século XVI, sendo que, ao longo de muitos anos até os tempos atuais, vem sendo aperfeiçoada.

O termo sustentabilidade florestal foi empregado, pela primeira vez, por Hans Carl von Carlowitz, em 1713, na Alemanha, divulgado no seu livro “Silviculture Oeconomica”. Segundo este autor, por esse princípio, a floresta deve fornecer produtos madeireiros e não-madeireiros às atuais e futuras gerações, em igual quantidade e qualidade às hoje disponíveis.

Para que isto seja possível, afirmou que a intensidade de corte da floresta deveria ser determinada considerando-se o princípio da normalidade, ou seja, considerando a capacidade da floresta em repor o volume retirado em determinado período de tempo, alcançando-se, desta forma, a perpetuação da produção.

Segundo Schneider & Finger (2000), existem alguns pressupostos indispensáveis para a implementação eficaz do manejo em florestas inequidêneas heterogêneas que devem ser observados, tais como: estruturação do povoamento, pois quanto melhor estruturado, mais fácil será a iniciação do sistema de seleção; boa vitalidade do povoamento, sobretudo das árvores com grandes dimensões para apoiar o desenvolvimento das árvores nos estratos

inferiores; densidade de espécies; ausência de pragas que afetem as árvores de grande dimensão; e presença de banco de sementes e ou plântulas como fonte de regeneração.

Quando se trata de extensas áreas de florestas nativas, Hosokawa *et al.* (1998) afirmam que o manejo dessas populações implica na elaboração/execução de projetos de manejo florestal, procurando conciliar os interesses econômicos com os ecológicos, por meio da utilização de técnicas adequadas, baseadas na ecologia de cada tipo de formação florestal.

O autor comenta que uma vez desconhecidas as características estruturais de uma floresta, não se pode assegurar seu aproveitamento ordenado. Isso implica, necessariamente, na utilização de estudos ecológicos abrangendo primordialmente o estudo individual das espécies florestais (auto-ecologia) e o estudo das comunidades florestais e sua estrutura (sine-ecologia). A aplicação de tais estudos básicos visam escolher, de maneira conveniente, o tipo de silvicultura a ser adotada e sua aplicação racional, para que se obtenham rendimentos contínuos na exploração das florestas, sem comprometer sua estabilidade.

Dependendo da complexidade dos fatores ecológicos, é necessário um certo tempo até que se obtenha uma estrutura balanceada.

Um dos principais objetivos do manejo de florestas inequidêneas heterogêneas consiste em ordenar a produção em cada unidade de manejo em um ciclo de corte compatível com a regeneração da floresta, estabelecendo uma taxa de corte sustentada, que é quantificada em função do incremento periódico anual em volume (IPAv).

Para a quantificação do incremento periódico anual em volume, Schneider & Finger (2000) comentam que podem ser considerados os seguintes procedimentos: determinação por meio de medições periódicas do DAP das árvores em parcelas permanentes; determinação pela diferença de volume entre duas ocasiões do inventário florestal; e determinação mediante análise de tronco.

A análise de tronco serve como alternativa às parcelas permanentes, na avaliação do incremento volumétrico e em altura, implicando na tomada de informações durante um longo período de tempo. Desta forma, a análise de tronco adquire importância singular, visto que é possível reconstituir o crescimento passado de uma árvore desde seu estado de plântula até o seu momento de abate, de forma rápida (Finger, 1992).

Esta técnica consiste no exame de um certo número de secções transversais do tronco da árvore, efetuando a contagem e medição dos anéis de crescimento visando avaliar, além da vida da árvore, o crescimento em volume, área basal, diâmetro e altura. Menciona-se também, que ela só é utilizada em espécies que possuem anéis de crescimento facilmente observáveis,

resultantes da atividade cambial nos períodos de atividade vegetativa e da redução do crescimento durante o repouso fisiológico.

Desta forma, a utilização da técnica de análise de tronco é o método mais simples a ser utilizado para se conhecer a dinâmica de crescimento, tornando possível determinar a idade das árvores e o crescimento anual (Schneider & Finger, 2000).

A determinação do incremento de uma árvore nada mais é do que acompanhar o crescimento, ou seja, acompanhar o resultado da atividade meristemática, que tem como consequência o alongamento e o engrossamento de raízes, galhos e troncos, causando alterações no peso, volume e na forma da árvore. Segundo Finger (1992), o crescimento é influenciado por fatores genéticos, interagindo com o meio ambiente, o qual compreende fatores climáticos (temperatura, precipitação, vento e insolação), edáficos (características físicas, químicas e biológicas), topográficos (inclinação, altitude e exposição) e fatores de competição através da influência de outras espécies.

A interação de todos esses fatores sobre a planta expressa a qualidade do sítio. Assim, se as condições de crescimento são boas, o sítio é considerado bom e vice-versa (Hush, 1982).

Na busca de um melhor esclarecimento sobre a influência desses fatores no desenvolvimento das espécies e para melhorar condução de povoamentos mistos e de múltiplas idades, foram desenvolvidos os primeiros modelos de crescimento de árvores singulares nos primeiros anos da década de 60, na América do Norte. Conforme Hasenauer (1997), o primeiro modelo de crescimento de árvore singular foi desenvolvido por Newhan, no ano de 1964, para povoamentos puros.

Segundo Davis & Johnson (1986), os modelos de crescimento e produção classificam-se em modelos de povoamentos globais, modelos por classes de diâmetro e modelos para árvores individuais. Conforme o autor, os de árvores individuais são modelos mais complexos e individualizados em relação aos demais, considerando cada árvore como uma amostra na população. A maioria desses modelos calcula um índice de competição de copa (CCI) para cada árvore, usado para determinar se a árvore vive ou morre, se ela vive, ela cresce em termos de diâmetro, altura, e tamanho de copa. A distinção entre os diversos tipos de modelos de árvores individuais está no índice de competição de copa que é calculado. Se o cálculo é baseado na medição da distância ente a árvore considerada em relação às demais árvores dentro de uma zona determinada, então este é chamado dependente da distância. No entanto, se o índice de competição de copa considerar somente as características da árvore selecionada, agregando características do povoamento, então o modelo é dito independente da distância.

Estes modelos são também conhecidos como modelos espaciais e não-espaciais de simulação de crescimento de árvores individuais. Segundo Vanclay (1994), o sentido espacial é preferido, pois esses modelos podem requerer dados espaciais tri-dimensionais das árvores analisadas, e não só a distância em relação a seus vizinhos.

Na formulação de modelos de crescimento de árvores individuais, os fatores acima citados precisam ser considerados e interpretados, possibilitando, assim, reconhecer sua maior ou menor influência sobre o crescimento.

A influência dos fatores genéticos sobre o crescimento das árvores é considerada, na medida em que os modelos são elaborados para cada espécie individualmente.

Os fatores climáticos, nos modelos de crescimento de árvores individuais, não são considerados diretamente, e sim tidos como constantes para a área de validade do modelo, na medida em que, por exemplo, o modelo considere a região fisiográfica, a altitude de um local, ou mesmo determinadas variáveis de microsítio, inclinação e exposição solar. Do mesmo modo, para Durlo (1996), as variáveis edáficas são convenientemente incluídas nos modelos de forma agregada pelas expressões da inclinação, da exposição solar e da degradação do solo.

A regulação da competição existente num povoamento florestal torna-se então uma variável de grande importância, pois é uma ferramenta fundamental para intervenções silviculturais. Conforme Schneider (1993), a competição vem a ser um dos fatores ecológicos mais importantes no manejo, já que quase todas as intervenções estão relacionadas com a manipulação deste fator ou de condições que o afetam.

Neste sentido, Hiley (1959) descreve o processo de desenvolvimento de uma plantação como sendo o crescimento de cada indivíduo constituinte do povoamento, exigindo cada vez mais espaço. Desta forma, deve-se permitir que a copa da árvore expanda-se individualmente, para alimentar um fuste, o qual se torna cada vez mais longo e espesso, já que a quantidade de alimentos que pode produzir é aproximadamente proporcional ao tamanho da copa. A taxa de crescimento diametral será determinada pelo espaço de crescimento de que dispõe cada árvore. As árvores competem por espaço, tanto para as raízes, quanto para a copa.

O desenvolvimento da copa em relação à concorrência, sobretudo no comprimento, diâmetro e, conseqüentemente, em sua superfície, é modificado por dois fatores: a luz, pois quanto mais denso o povoamento, menos luz entra nas camadas mais baixas; e o vento, o qual, ao atingir as árvores a uma certa altura, faz com que as copas se movam e os galhos compridos se toquem, podendo se quebrar no contato com árvores vizinhas. No primeiro fator, tem-se ainda que a incidência lumínica abaixo de um certo limite mínimo sobre as

espécies pode, dependendo das espécies (se tolerantes ou não à sombra), provocar a morte dos galhos ou o aparecimento de galhos novos com menores diâmetros e comprimentos na estrutura da copa.

A produção de madeira em relação à área de copa é um referencial de grande valor para justificar a produtividade da árvore. Essa produtividade, não só depende da espécie e do sítio, mas também da concorrência e da classe social da árvore.

A determinação de relações de produtividade para árvores individuais também assume grande importância quando a variável tempo não pode ser determinada, como no caso da maioria das espécies que compõem as florestas nativas, e muitas vezes nem pode ser medida (ausência de anéis de crescimento anuais visíveis). Utilizam-se, nestes casos, características dimensionais das árvores, como por exemplo, seu diâmetro e porcentagem de copa, na formulação de modelos que expressem o crescimento no tempo sem levar em conta a idade da árvore.

A esse respeito, Durlo (1996) e Sterba (2001) mencionam que o crescimento pode ser descrito de forma geral como sendo uma função das dimensões das árvores, da qualidade do sítio e da concorrência exercida sobre determinado indivíduo. Durlo utilizou ainda uma função para estimar as dimensões, empregando-se apenas o DAP dos indivíduos, tendo o sítio sido caracterizado pela inclinação, pedregosidade, material de origem, degradação, exposição e concorrência. Tal função é testada através de três variáveis: a área basal de cada amostra, a área basal das árvores mais grossas que a central (BAL) e o incremento periódico anual observado.

Com isso, através do estudo do crescimento e sua modelagem para árvores individuais, torna-se possível, com o passar do tempo, conhecer todos os indivíduos de uma população que se quer manejar.

No estado do Rio Grande do Sul, encontram-se formações florestais bastante variadas para as quais podem ser aplicadas as técnicas de manejo sustentado, devido principalmente, a sua abrangência e importância econômica e ecológica.

Nestas florestas, algumas espécies são de interesse imediato de estudo pela sua dominância, frequência e importância ecológica e econômica. Dentre elas, tem presença destacada a canela-preta (*Nectandra megapotamica*).

Segundo Reitz et al. (1983), a espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez é descrita morfológicamente como uma árvore perenifólia, de 15 até 25 (30) metros de altura e 40 a 80 cm de diâmetro; de tronco geralmente um pouco tortuoso, levemente canelado, e fuste curto de 6 a 8 metros; de casca escura, com escamas descamantes, que deixam cicatrizes ao se

desprenderem, constituindo, sem dúvida, uma das características mais peculiares para diferenciá-la das outras lauráceas. Além disso, possui copa arredondada, com folhagem muito densa e verde-escura, formada pelas folhas velhas e verde-claras, quando há presença de muitas folhas novas.

Apresenta ampla distribuição pelas principais florestas do Estado; ocorre na floresta do Alto Uruguai, nos sub-bosques dos pinhais do planalto, na floresta da fralda da Serra Geral, na Floresta Pluvial Atlântica e no Escudo Rio-Grandense.

Constitui também um dos representantes mais importantes, comuns e abundantes no segundo estrato da floresta latifoliada do Alto Uruguai e da floresta que se estende ao longo da fralda da Serra Geral, pertencendo às espécies dominantes do estrato contínuo das florestas em praticamente toda a área de ocorrência. Igualmente, é muito freqüente na maioria dos sub-bosques dos pinhais mais desenvolvidos, que se encontram entre 500 e 800 metros de altitude. No Escudo Rio-Grandense, a densidade é menor, tornando-se elemento raro na Floresta Pluvial Atlântica.

Apresenta-se indiferente quanto às condições físicas dos solos. Desenvolve-se desde os solos muito úmidos até os de drenagem rápida, situados em encostas íngremes e rochosas.

Na madeira, existe nítida diferenciação entre o alburno, que é amarelo-ocráceo, e o cerne, que é de cor castanha. A madeira apresenta cheiro desagradável quando recém cortada.

Lorenzi (1998) comenta que a madeira presta-se para a construção civil, tabuado em geral. Porém, apesar das excelentes características xilotecnológicas, esta madeira tem sido relegada para segundo plano devido ao cheiro desagradável, que pode voltar quando em lugares úmidos.

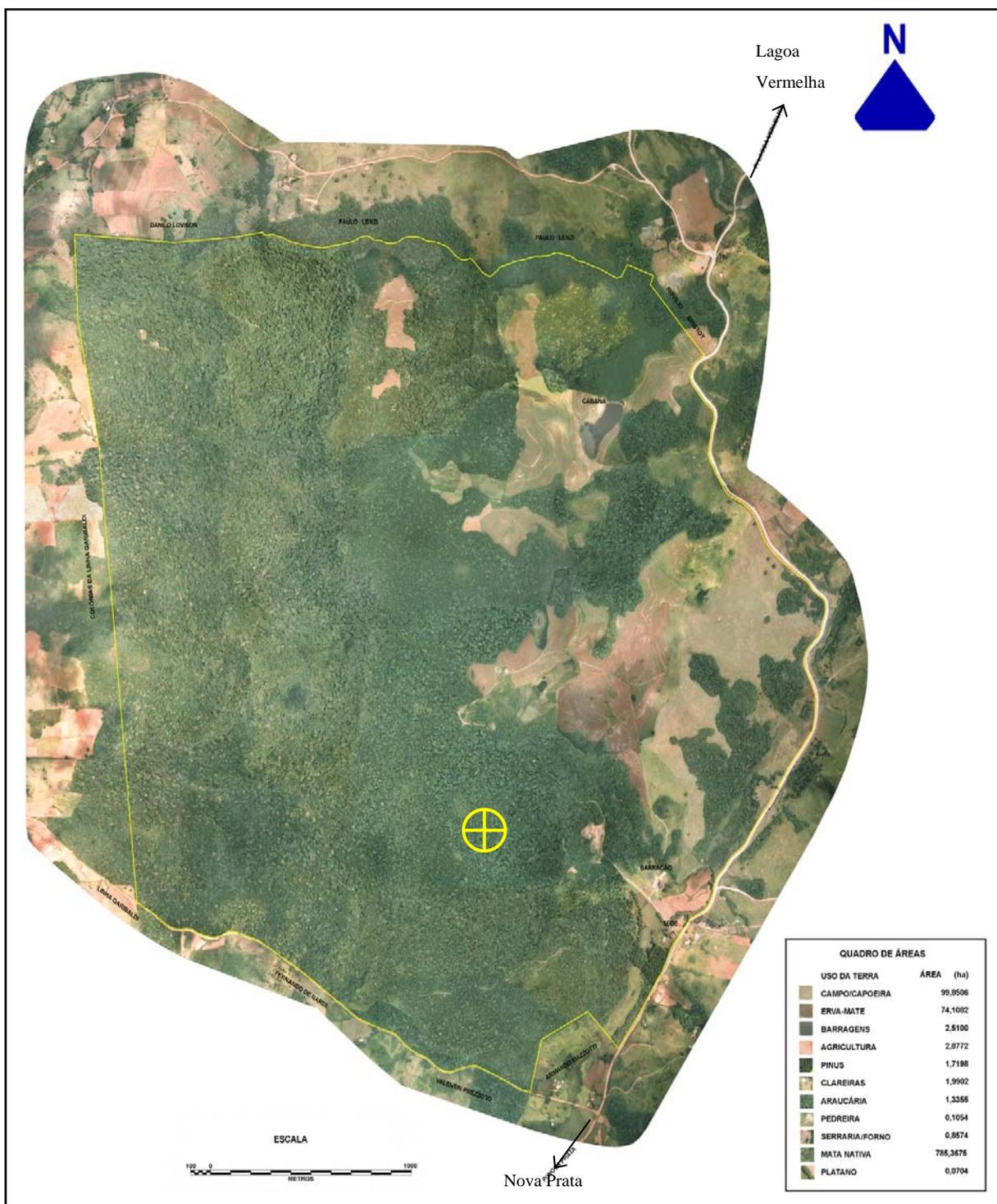
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de coleta dos dados

O presente estudo foi realizado na Fazenda Tupi, município de Nova Prata, localizado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul.

Distante, aproximadamente, 13 Km da sede do município, a fazenda possui área total de 970 hectares, sendo 785 representados por Floresta Ombrófila Mista (Figura 1). O histórico de exploração dessa floresta mostra atividades de intervenção antrópica até a década de 70, objetivando, principalmente, a exploração de espécies de alto valor econômico. A partir desse período, a floresta tem sido manejada com propósitos conservacionistas, por meio da manutenção do ambiente natural existente, e também científicos, através da realização de estudos destinados a investigar a dinâmica florestal da biocenose.

Os dados para este estudo foram coletados numa área de, aproximadamente, 15 ha, em local disponibilizado pelo PELD, Programa Ecológico de Longa Duração, o qual desde o ano de 2001, realiza pesquisas na área.



FONTE: Bolfe *et al.* (2000).

FIGURA 1: Localização da área de estudo.

3.2 Clima

O clima da região, segundo Moreno (1961), é classificado como Cfa, subtropical, com temperatura do mês mais frio entre 3 e 18°C e temperatura do mês mais quente superior a 22°C. A temperatura máxima é de, aproximadamente, 22,3°C, registrada no mês de janeiro, e a do mês mais frio, de 12,4°C, registrada no mês de julho. A temperatura média anual é de 17,3°C. A precipitação média anual é de 1852mm, com maior concentração de chuvas nos meses de junho a setembro. A direção predominante do vento é sudeste, e há ocorrência de geadas, em média, 13 ocorrências durante o inverno.

3.3 Solos

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, caracterizado por Streck *et al.* (2002) como solo bem drenado, normalmente profundo a muito profundo, bastante poroso e bem estruturado.

A unidade de relevo é do tipo Planalto das Araucárias, com altitude média em torno de 780m e declividades máximas de 30% (Herrmann & Rosa, 1990).

3.4 Escolha da espécie

Os critérios observados para escolha da espécie utilizada neste estudo foram a importância econômica, a importância ecológica e a presença de anéis anuais de crescimento diferenciáveis.

3.5 Obtenção dos dados

Para o estudo do crescimento foram estipuladas onze (11) árvores-amostra de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, com a finalidade de reconstituir o crescimento passado desses indivíduos, por meio de análise de tronco.

A seleção das árvores no interior da floresta foi efetuada, levando-se em conta as seguintes características:

a) Posição sociológica: priorizaram-se os indivíduos dominantes e, no máximo, co-dominantes;

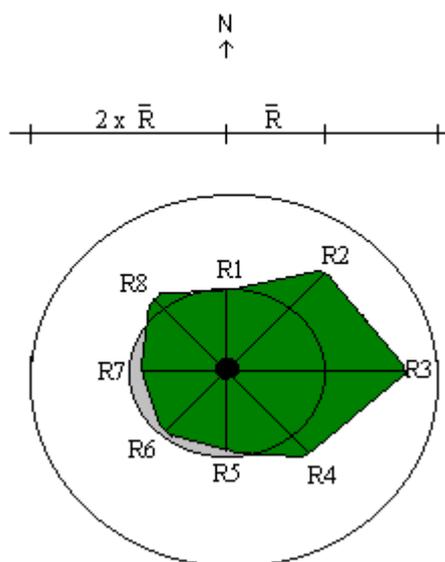
b) Forma da copa: priorizaram-se os indivíduos com copa bem formada, ou melhor, sem galhos quebrados e bem distribuída em torno do eixo central da árvore;

c) Altura e qualidade do fuste: priorizaram-se os indivíduos com fustes longos, retos, cilíndricos (quando possível) e com aparente ausência de defeitos na madeira, tais como manchas, podridões etc.

Com isso, assumiu-se a hipótese de que árvores com estas características morfológicas experimentaram um crescimento mais promissor dentro da floresta.

Outro fator relevante na determinação do número de árvores-amostra, além da sua existência, foi a possibilidade de abate da árvore, quer por impedimento legal ou burocrático, quer pela falta de permissão do proprietário.

Para estimar as condições de crescimento de cada árvore-amostra, foram utilizadas unidades amostrais circulares com área proporcional à copa da árvore selecionada. O raio da unidade amostral foi definido como sendo duas vezes o raio médio de copa da árvore-amostra, conforme exemplificado na Figura 2.



Sendo: \bar{R} = Raio médio de copa, em metros; R = Raio de copa, em metros.

FIGURA 2: Área de amostragem das condições ambientais, por árvore-amostra.

O raio médio de copa foi determinado através da medição de oito raios, medidos em posições fixas. O primeiro raio apresentava orientação norte e os demais, medidos a cada 45° no sentido horário.

3.5.1 Variáveis mensuradas

Dentro de cada unidade amostral, foram consideradas somente as árvores com circunferência à altura do peito (CAP) igual ou superior a trinta centímetros. Para cada árvore considerada, anotaram-se as seguintes informações dendrométricas, conforme o Manual para Coleta de Informações Dendrométricas elaborado por Schneider *et al.* (1999):

- a) Código da árvore: iniciando pela árvore-amostra (*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez), de coordenadas 0,0, atribuindo-lhe o código 1;
- b) Nome vulgar da espécie;
- c) Circunferência à altura do peito (CAP): medida com fita métrica, em centímetros, a 1,30m acima da superfície do solo;
- d) Altura da copa: medida com hipsômetro Vertex, em metros, considerando a distância do solo até a altura das folhas (base da copa);
- e) Altura total: medida com hipsômetro Vertex, em metros;
- f) Altura do fuste: medida com hipsômetro Vertex, em metros, considerando a distância do solo até o ponto de ramificação do fuste;
- g) Raios de copa: medidos com auxílio de bússola e Vertex, em metros, em oito direções fixas (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste). Na situação de árvore inclinada, determinava-se um novo centro de copa, no qual se mediam os raios;
- h) Coordenadas: medida em ângulo e distância. Estas coordenadas locavam a posição das demais árvores em relação à árvore-amostra dentro da unidade amostral. Para medição do ângulo azimutal, utilizou-se instrumento artesanal contendo escala numerada de 0 a 360°, e ainda, oito posições cardeais para medição dos raios de copa. Inicialmente, fixava-se o instrumento junto a árvore de código 1, de coordenadas 0,0, e, em seguida, orientava-o na direção norte, efetuando-se, desta forma, a medição do ângulo com auxílio da mira de observação. Para medição da distância, utilizou-se o hipsômetro Vertex, com precisão de dez centímetros;
- i) Posição sociológica: compreendendo a posição vertical da árvore em relação às suas vizinhas. O indivíduo foi classificado em: (1) dominante, (2) co-dominante, (3) dominado e (4) suprimido;
- j) Tendência à valorização: compreendendo a possibilidade da árvore passar de um estrato para outro. Observando a sanidade, posição sociológica, competição e forma da copa, classificando-se as condições de crescimento de cada árvore, através dos seguintes critérios:

(1) crescimento promissor, mudança ascendente na posição sociológica; (2) crescimento médio, mudança lenta na posição sociológica; e (3) crescimento insignificante, tendência a permanecer na mesma posição sociológica;

k) Classe de copa: classificada de acordo com a profundidade de copa em: (1) copa longa, comprimento maior que $\frac{1}{2}$ da altura total da árvore; (2) copa média, comprimento da copa entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$ da altura total da árvore; (3) copa curta, comprimento da copa inferior a $\frac{1}{4}$ da altura total da árvore e (4) copa danificada ou quebrada;

l) Sanidade: Foram classificados os indivíduos de acordo com a causa e a intensidade de danos. Quanto às causas, adotou-se a seguinte codificação: (1) saudável, (2) danos abióticos (geadas, ventos, etc), (3) danos por insetos, (4) danos por fungos, (5) danos por animais, (6) danos complexos (causados por dois ou mais agentes) e (7) morta. A intensidade dos danos foi classificada em (1) baixa, (2) média e (3) alta.

m) Qualidade do fuste: classificou-se o fuste da árvore em (1) fuste reto, cilíndrico, sem defeitos internos aparentes, livre de nós e galhos, que permite obter madeira de alta qualidade; (2) fuste reto a levemente tortuoso, cilíndrico ou pequena excentricidade, sem defeitos aparentes, presença de pequenos galhos; (3) fuste com tortuosidade acentuada, excêntrico e presença de galhos de porte regular; e (4) fuste inaproveitável, podre, oco, que não permite qualquer aproveitamento.

Além das informações levantadas para cada indivíduo dentro da unidade amostral, também foram registradas informações referentes ao tamanho e localização das árvores-amostra, tais como:

a) Número da unidade amostral em que ocorria;

b) Exposição do terreno: classificou-se a exposição em (1) norte, (2) nordeste, (3) leste, (4) sudeste, (5) sul, (6) sudoeste, (7) oeste e (8) noroeste;

c) Declividade do terreno: registrou-se a declividade com auxílio do hipsômetro Vertex, anotando-se o ângulo, em graus, e a distância, em metros. Posteriormente, estas informações foram convertidas em declividade percentual.

d) Pedregosidade: analisou-se a presença de afloramento de rochas no local da unidade amostral, classificando em: (0) sem afloramento e (1) com afloramento de rochas;

e) Posição no terreno: observando a posição da árvore no terreno, atribui-se (1) platô, (2) encosta e (3) baixada;

f) Área da unidade amostral: calculada em metros quadrados, em função do raio médio de copa da árvore-amostra;

Para o estudo do crescimento, foram utilizadas as onze (11) árvores-amostra previamente selecionadas na floresta. Estas árvores, depois de abatidas com uso de motosserra, tiveram o fuste seccionado para retirada das fatias de amostragem.

As posições de retirada das fatias nas árvores foram: próximo à base da árvore, em torno de 10cm acima do nível do solo; no DAP, a 1,30m da superfície do solo; na altura do fuste, ou seja, imediatamente antes da ocorrência de ramificações ou alterações bruscas na forma do fuste; e ainda, em um (1) ou dois (2) pontos entre o DAP e a altura do fuste, dividindo-o em duas ou três partes iguais, dependendo de seu comprimento. As fatias foram identificadas com o número da árvore e altura de retirada da fatia. Posteriormente, foram secas em estufa, aplainadas com plaina manual e lixadas com lixas de números 35, 60, 100, 150, 320, 600 e 1200.

Para estudo do incremento percentual em volume ($i_{v\%}$), aplicou-se a técnica de análise de tronco, por árvore-amostra, através da medição de quatro raios marcados em cada fatia, conforme descrito por Finger (1992). No procedimento de identificação e marcação dos anéis anuais de crescimento, foram considerados, para efeito de medição, os anéis que apresentavam banda parenquimática de coloração escura e contínua ao longo da secção transversal e aqueles que estavam presentes em todas as fatias. A medição e o registro das informações referentes às análises de tronco foram efetuados com auxílio do aparelho Lintab II e do programa TSAP *for windows*.

3.5.2 Variáveis calculadas

3.5.2.1 Variáveis morfométricas

As variáveis morfométricas foram utilizadas para descrever as relações dimensionais das árvores amostradas e fazer inferência sobre sua estabilidade e produtividade. Neste sentido, foram calculadas as seguintes informações:

- a) Lc: comprimento da copa, em metros;
 b) dc: diâmetro da copa, em metros;
 c) pc: proporção de copa, em porcentagem, onde:

$$pc_{\%} = \frac{Lc}{h} * 100$$

Sendo: Lc = comprimento da copa; h = altura total;

d) h/d: relação altura diâmetro, também conhecida como grau de esbeltez é expressa em $m.cm^{-1}$, onde:

$$h/d = \frac{h}{DAP}$$

Sendo: h = altura total; dap = diâmetro à altura do peito;

e) is: índice de saliência, em $m.cm^{-1}$, onde:

$$is = \frac{dc}{DAP}$$

Sendo: dc = diâmetro de copa; DAP = diâmetro à altura do peito;

f) ia: índice de abrangência, em valor absoluto, onde:

$$ia = \frac{h}{dc}$$

Sendo: h = altura total; dc = diâmetro de copa;

g) fc: formal de copa, em valor absoluto, onde:

$$fc = \frac{dc}{Lc}$$

Sendo: dc = diâmetro de copa; Lc = comprimento de copa;

O índice expresso pela relação entre diâmetro de copa e comprimento de copa é usualmente conhecido como formal de copa. Em geral, quanto menor este índice, maior é a influência às árvores vizinhas na expansão lateral da copa da árvore considerada.

3.5.2.2 Variáveis de concorrência

A estimativa do espaço horizontal ocupado por cada árvore-amostra, em relação a suas vizinhas, ocorreu através da utilização dos seguintes índices de competição:

a) Índice de Glover & Hool, (Schneider & Finger, 2000)

$$I_{gh} = \frac{d_i^2}{\bar{d}^2}$$

Sendo: d_i = diâmetro da árvore considerada, em centímetros; \bar{d} = diâmetro médio do povoamento, em centímetros.

O índice de Glover e Hool relaciona a dimensão da árvore considerada com a dimensão média das árvores vizinhas, dentro de uma área previamente estabelecida. Então, quanto menor for o índice maior será a concorrência sofrida pela árvore.

b) Índice de BAL (Basal área larger)

$$BAL = \sum_{i=1}^n g$$

Sendo: n = número de árvores com cap maior que a árvore-amostra; g = área transversal, em metros quadrados.

O índice de BAL busca quantificar a concorrência por espaço entre as árvores, considerando como competidoras aquelas com área basal (ou transversal) maior que a árvore considerada. Logo, quanto maior o índice, maior a competição exercida sobre o indivíduo considerado (Della-Flora, 2001).

c) Índice de BAL corrigido

$$BAL_{cor} = \sum_{i=1}^n g \cdot \frac{d_j}{d_i} \cdot \frac{1}{L_{ij}}$$

Sendo: d_i = diâmetro da árvore-amostra, em centímetros; d_j = diâmetro da árvore concorrente, em centímetros; L_{ij} = distância entre a árvore-amostra e a concorrente, em metros;

O Índice de BAL corrigido quantifica a concorrência entre árvores de maneira mais fidedigna, pois, ao se ter dois indivíduos competidores de mesma dimensão, será mais concorrente aquele que estiver localizado mais próximo à árvore considerada (Della-Flora, 2001).

d) Índice de Hegyi (Davis & Johnson, 1986)

$$I_H = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_j} \right) \cdot \frac{1}{L_{ij}}$$

Sendo: d_i e d_j = diâmetro da árvore considerada e concorrente, em metros, respectivamente; L_{ij} = distância até a concorrente j , em metros;

O Índice de Hegyi é semelhante ao índice de BAL corrigido, com a diferença de desconsiderar a área basal no cálculo da concorrência. Portanto, de acordo com a relação deste índice, quanto maiores os valores de I_H , maior a competição entre as árvores, para um aproximado número de indivíduos.

e) Índice da área potencial disponível (I_r), Schneider & Finger (2000)

$$I_r = \frac{d_i}{d_i^2 + d_j^2} \cdot L_{ij}$$

Sendo: d_i = diâmetro da árvore considerada, em centímetros; d_j = diâmetro da árvore concorrente, em centímetros; L_{ij} = distância entre a árvore considerada e a concorrente, em metros;

O índice I_r , descrito por Moore (1973), considera como competidores aqueles indivíduos vizinhos e equidistantes à árvore considerada. Então, quanto maior este índice maior será a área potencial disponível para a árvore considerada.

3.5.2.3 Incremento percentual em volume ($i_{v\%}$)

Calculou-se o incremento corrente anual em volume percentual ($i_{v\%}$) a partir do volume correspondente a cada ano, determinado pela análise de tronco, até a altura do fuste considerada. O volume foi calculado pelo método de Smalian, conforme metodologia citada por Finger (1992). Para o cálculo do $i_{v\%}$, estabeleceu-se a seguinte relação:

$$i_{v\%} = \frac{V_{i+1} - V_i}{V_i} * 100$$

Sendo: v = volume, em metros cúbicos; i = idade considerada, em anos.

De acordo com a expressão anterior, o incremento volumétrico é sempre determinado levando-se em consideração o volume do ano seguinte. Com isso, foi possível modelar a tendência do incremento volumétrico no tempo, podendo-se estimar o crescimento volumétrico da árvore.

Só foram considerados o volume dos anéis para os quais a árvore tinha alcançado a altura comercial, isto é, dos anéis presentes da base da árvore (1ª fatia) até a última fatia tomada na última posição do fuste. A altura do fuste foi considerada aquela como sendo

imediatamente anterior à ocorrência de alterações repentinas na forma do tronco ou na ocorrência de bifurcações ou irregularidades no fuste.

3.5.2.4 Variáveis independentes i_{d10} , i_{d5} e i_{d2}

Uma vez concluída a análise de tronco de cada uma das árvores selecionadas, procedeu-se a determinação das variáveis independentes descritas como i_{d10} , i_{d5} e i_{d2} . Estas variáveis foram calculadas com o objetivo de se conhecer qual era o ritmo de crescimento em diâmetro das árvores nos últimos anos, na tentativa de relacionar o crescimento em diâmetro atual, com o crescimento passado em volume. Para isso as variáveis foram calculadas da seguinte maneira:

- a) i_{d10} : incremento médio em diâmetro medido nos últimos 10,0cm do DAP, no sentido casca-medula;
- b) i_{d5} : incremento médio em diâmetro medido nos últimos 5,0cm do DAP, no sentido casca-medula;
- c) i_{d2} : incremento médio em diâmetro medido nos últimos 2,0cm do DAP, no sentido casca-medula.

3.5.3 Ajuste da equação para $i_{v\%}$

Segundo Fresse (1972), um dos objetivos mais comuns da aplicação dos métodos de regressão é o de encontrar uma função que relacione uma variável dependente a outras variáveis independentes.

No ajuste da equação de regressão para $i_{v\%}$, considerou-se como variável dependente o $i_{v\%}$ e como variável independente o DAP. A escolha do DAP como variável independente atribui-se ao fato de este gerar maior praticidade ao modelo, pois, além de ser de fácil medição, é indicador da idade fisiológica da árvore.

O ajuste da equação de regressão, para o incremento volumétrico percentual das árvores-amostra, foi calculado no programa SAS, Statistical Analysis System versão 6.11, através do procedimento GLM (General Linear Models).

Priorizou-se a escolha de modelos de, no máximo, dois coeficientes, objetivando maximizar sua eficiência prática e facilitar as análises de covariância subseqüentes.

As variáveis $i_{v\%}$ e DAP foram ainda transformadas, conforme a Tabela 1, com o propósito de obter melhores ajustes.

No total, 84 modelos de regressão foram testados a fim de selecionar aquele que melhor descrevesse a tendência dos dados observados.

TABELA 1 - Transformação de variáveis para ajuste da função de $i_{v\%}$

Variável dependente $i_{v\%}$			
Nome	Transformação	Nome	Transformação
Y	$i_{v\%}$	LN11	$1 / \ln (i_{v\%} / 100)$
Y1	$(i_{v\%}) / 100$	Y12	$(i_{v\%} / 100)^{0,5}$
LN1	$\ln (i_{v\%})$	Y13	$(i_{v\%})^{0,5}$
LN11	$\ln (i_{v\%} / 100)$	-	-
Variável independente DAP			
Nome	Transformação	Nome	Transformação
X	dap	LN1	$\ln (dap)$
X1	$1 / dap$	LN11	$1 / \ln (dap)$
X2	dap^2	LN12	$\ln^2 (dap)$
X3	dap^3	LN112	$1 / \ln^2 (dap)$
X11	$1 / (dap^2)$	RQ1	$dap^{0,5}$
X12	$1 / (dap^3)$	RQ11	$1 / (dap^{0,5})$

Sendo: \ln = Logaritmo neperiano; DAP = Diâmetro à altura do peito; / = Divisão.

Selecionou-se a equação que apresentou maiores coeficientes de determinação, menores coeficientes de variação e alta eficiência para as árvores estudadas.

A estatística da eficiência do modelo foi calculada pela seguinte expressão, conforme Kiuiste *et al.* (2002):

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Sendo: n = Número de observações; y_i = Valor observado; \hat{y}_i = Valor estimado; \bar{y} = Média dos valores observados.

Tem-se que, quanto maior o valor de “E” calculado, maior é a capacidade do modelo em explicar a variação existente, concluindo-se que as diferenças entre os valores observados e os estimados são mínimas, o que indica que o modelo é eficiente. Para medir esta variação, também foram construídos gráficos de resíduos na forma percentual, por árvore-amostra.

3.5.4 Análise de covariância do $i_v\%$

A análise de covariância foi utilizada para identificar as hipóteses da não-diferença em nível e inclinação entre as curvas de incremento volumétrico percentual das árvores estudadas.

Segundo Steel & Torrie (1960), a análise de covariância utiliza conjuntamente dois procedimentos: análise de variância e análise de regressão. Primeiramente, testa-se se há diferença de inclinação entre as curvas. Se não existir diferença, a hipótese da não diferença entre níveis é testada.

Uma vez não existindo diferenças, tanto em nível como em inclinação, entre as árvores estudadas, torna-se possível a aplicação de uma função comum, ajustada para o conjunto de árvores, e que explique a variação do incremento volumétrico percentual ao longo do tempo.

A análise de covariância foi realizada pelo SAS, no modo GLM (General Linear Models), com uso de variável dummy, associada à classe *Árvore*. O uso da variável dummy foi necessário para transformar a característica qualitativa atribuída à árvore individual, em característica quantitativa, tornando-se assim, passível de ser analisada estatisticamente. Nesta análise, foram observadas as significâncias dos valores da estatística F , relacionadas com a classe *Árvore*, a fim de verificar a hipótese de igualdade de nível, e a significância do valor de F relacionada à interação $dap*Árvore$, para verificar a hipótese de igualdade de inclinação entre as árvores.

3.5.5 Modelagem dos coeficientes da função de $i_v\%$

A modelagem, segundo Schneider (1998), consiste no procedimento estatístico com o propósito de ajustar um modelo de regressão composto por variáveis que se relacionam mutuamente. O autor afirma ainda que, dentre os métodos mais utilizados para modelagem de uma equação, estão o método de seleção *forward*, o método de eliminação *backward* e o método de regressão *stepwise*.

Os coeficientes de intercepto e angular das curvas de incremento volumétrico percentual das árvores-amostras foram modelados em função de variáveis dendrométricas e do sítio, objetivando dar praticidade às equações de incremento calculadas e explicar a diferença de ângulo e nível das curvas de incremento.

Os coeficientes b_0 e b_1 foram modelados pelo procedimento *stepwise*, adotando-se o processo *forward* de eliminação de variáveis. Neste processo, a formação do modelo

matemático teve início pela variável independente mais correlacionada com a dependente, incluindo nos passos seguintes as variáveis independentes com maiores correlações parciais para, posteriormente, serem testadas pelo teste de F .

A modelagem *forward* foi calculada no pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System), no modo *f*, tendo como variáveis independentes os dados de morfometria, concorrência e ambientais de cada árvore selecionada.

3.5.6 Precisão dos modelos de b_0 e b_1

Na verificação da precisão dos modelos, foram observadas as estatísticas do coeficiente de determinação, coeficiente de variação, probabilidade de significância dos coeficientes, valor da estatística F e gráfico de resíduos entre os coeficientes observados e estimados pelos modelos.

Não obstante, a precisão dos modelos foi ainda avaliada substituindo-se, em cada árvore-amostra, os coeficientes originais ajustados para as funções de $i_v\%$, pelos novos coeficientes b_0 e b_1 estimados pelas funções de modelagem.

3.5.7 Estudo das variáveis dos modelos b_0 e b_1

As variáveis selecionadas na modelagem foram testadas, avaliando sua coerência nas estimativas de incremento volumétrico percentual ($i_v\%$). Esta foi realizada comparando-se a influência da variável no modelo, se aditiva ou subtrativa, com outros trabalhos já realizados em relação à modelagem do crescimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das árvores

Seguindo os critérios pré-estabelecidos para seleção das árvores na floresta, a amostra para estudo do crescimento da espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, na Floresta Ombrófila Mista, no município de Nova Prata, ficou constituída conforme a Tabela 2.

TABELA 2 - Caracterização das árvores de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez selecionadas para estudo de crescimento.

Árv Nº	DAP (cm)	h (m)	hcopa (m)	hfuste (m)	Pos. Soc.	Tend. Val	Clas Copa	Sanidade		Qual. Fuste
								Causa	Int	
1	37,7	20,0	12,7	8,0	2	1	2	1	-	1
2	46,2	21,6	10,3	7,1	1	1	2	1	-	2
3	65,6	23,1	13,3	8,0	1	1	2	1	-	2
4	42,7	17,0	9,9	3,4	1	1	2	1	-	3
5	50,4	23,8	8,4	6,5	1	1	1	1	-	1
6	27,7	18,0	12,8	9,8	1	2	2	1	-	2
7	45,7	22,3	16,8	8,8	1	1	3	1	-	1
8	49,0	24,0	14,0	11,0	1	1	3	1	-	1
9	36,1	23,3	15,0	11,9	1	1	3	1	-	2
10	36,8	22,6	17,0	12,6	1	1	1	1	-	2
11	37,1	21,1	12,0	10,3	2	1	3	1	-	1

Sendo: DAP = Diâmetro à altura do peito; h = Altura total; hcopa = Altura da copa; hfuste = Altura do fuste; Pos. Soc.= Posição sociológica (1 = dominante, 2 = co-dominante); Tend. Val.= Tendência à Valorização (1 = crescimento promissor, 2 = crescimento médio); Classe de copa: 1 = longa, 2 = média, 3 = curta; Causa: 1 = saudável; Intens = Intensidade (- = sem danos); Qualidade do fuste: 1 = reto e cilíndrico, 2 = levemente tortuoso, 3 = tortuosidade acentuada.

Observa-se que, das árvores-amostra, duas estavam na posição sociológica co-dominante, sendo estas as árvores de número 1 e 11.

Já em relação à qualidade do fuste, percebe-se que houve nítida variação nesta variável entre as árvores abatidas. Cinco delas apresentaram fuste reto e cilíndrico, cinco apresentaram fuste com leve tortuosidade e uma, com elevada tortuosidade e excentricidade.

A ocorrência de fatias excêntricas trouxe algumas dificuldades à análise de tronco. Dentre elas, cita-se a ocorrência de grandes variações nos incrementos anuais dentro do mesmo anel anual de crescimento e, também, à presença de regiões onde os anéis anuais se encontravam com elevada justaposição, impedindo a identificação e posterior medição de

seus incrementos. Quando encontrada esta última situação em particular, optou-se pela reordenação das raios de medição em orientações variáveis sobre as fatias.

Quanto à dimensão, as árvores apresentaram DAP mínimo de 27,7cm (árvore 6) e máximo de 65,6cm, não ultrapassando 24,0m de altura total (árvore 8). Apesar de ter sido priorizada a seleção de árvores com maiores fustes, percebe-se que houve considerável variação neste atributo entre as árvore amostradas, oscilando desde 3,4m (árvore 4) até 12,6m (árvore 10).

Os indivíduos selecionados não apresentaram variação considerável na altura total, se comparado com a altura do fuste. Com exceção das árvores 4 e 6, as demais árvores apresentaram alturas totais entre 20,0 e 24,0m, indicando estarem em uma mesma classe de altura dentro da floresta.

De forma geral, foram selecionadas árvores saudáveis, dominantes, com copas médias a curtas e com tendência a se desenvolverem de forma promissora dentro da floresta.

4.2 Unidades amostrais

As unidades amostrais, destinadas a amostrar as condições ambientais, variaram em função do tamanho da copa da árvore selecionada. Deste modo, foram obtidas unidades amostrais com áreas entre 109,8 m², correspondente à árvore número 6, até 676,6m², para a árvore número 3 (Tabela 3).

TABELA 3 - Dimensão e condições ambientais das unidades amostrais, por árvore-amostra.

Árvore/ Parcela N°	Raio da Unidade (m)	Área da Parcela (m ²)	Expos	Inclinação (%)	Pedreg	Posição
1	10,7	356,3	3	18,0	0	2
2	10,4	338,2	3	11,3	0	2
3	14,7	676,6	2	7,7	0	3
4	8,1	206,1	2	10,8	0	3
5	14,1	624,6	5	12,2	0	2
6	5,9	109,8	2	10,1	0	3
7	9,2	267,4	3	8,2	0	2
8	10,1	318,9	2	10,8	1	3
9	7,3	168,6	2	7,7	0	3
10	10,2	323,7	2	11,7	0	3
11	8,3	214,0	3	13,3	0	3

Sendo: Expos = Exposição do terreno (2 = nordeste, 3 = leste, 5 = sul); Pedreg = Pedregosidade (0 = Ausência de afloramento de rochas, 1 = Presença de afloramento de rochas); Posição = Posição no terreno (2 = Encosta; 3 = Baixada).

As árvores selecionadas localizavam-se em terrenos com exposição nordeste ou leste e declividade aproximada entre oito e dezoito por cento. Não foi verificada a ocorrência de árvore-amostra na posição do relevo classificada como platô, tendo-se selecionado indivíduos apenas na encosta e baixada, sendo que apenas a árvore número 8 estava presente em solo com afloramento de rocha (Tabela 3).

4.3 Variáveis morfométricas

Através da medição das variáveis dimensionais das árvores selecionadas, pode-se calcular os índices morfométricos apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - Variáveis morfométricas das árvores amostradas da espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.

Árvore N°	Lc (m)	dc (m)	pc	h/d (m.cm ⁻¹)	is (m.cm ⁻¹)	ia	fc
1	7,3	10,7	36,500	0,531	0,283	0,533	1,459
2	11,3	10,4	52,315	0,468	0,225	0,480	0,918
3	9,8	14,7	42,424	0,352	0,224	0,635	1,497
4	7,1	8,1	41,765	0,399	0,190	0,476	1,141
5	15,4	14,1	64,706	0,473	0,280	0,592	0,916
6	5,2	5,9	28,889	0,650	0,214	0,328	1,137
7	5,5	9,2	24,664	0,488	0,202	0,414	1,677
8	10,0	10,1	41,667	0,490	0,206	0,420	1,008
9	8,3	7,3	35,622	0,645	0,203	0,314	0,883
10	5,6	10,2	24,779	0,615	0,276	0,449	1,813
11	9,1	8,3	43,128	0,569	0,223	0,391	0,907

Sendo: Lc = Comprimento de copa; dc = Diâmetro de copa; pc = Porcentagem de copa; h/d = Relação altura diâmetro; is = Índice de saliência; ia = Índice de abrangência; fc = Formal de copa;

Observa-se que houve ampla variação no comprimento da copa das árvores estudadas, variando de 5,2m (árvore 6) até 15,4m (árvore 5). Porém, mais importante que analisar o comprimento da copa é verificar a proporção de copa expressa pela porcentagem, pois esta é

indicadora de vitalidade e produtividade da árvore. Logo, quanto maior a proporção de copa, mais promissor tende a ser seu crescimento. As árvores com maiores proporções de copa foram as de número 2, 5 e 11.

A relação h/d, que mede a estabilidade da árvore, variou do valor mais estável, igual a $0,352\text{m.cm}^{-1}$ (correspondente à árvore 3) até o valor menos estável, igual a $0,650\text{m.cm}^{-1}$ (correspondente à árvore 6). As menores relações h/d estão relacionados às árvores número 3 ($0,352$) e 4 ($0,399$), enquanto que as maiores, às árvores seis ($0,650$) e nove ($0,645$).

O índice de saliência variou de $0,190\text{m.cm}^{-1}$ (árvore 4) até $0,283\text{m.cm}^{-1}$ (árvore 1). Estes valores indicam que, em média, as árvores amostradas apresentaram diâmetro de copa 24 vezes maior que o DAP. Trata-se de uma variável importante a ser observada no manejo das árvores dessa espécie dentro da floresta, pois ao se desejar ter uma árvore com DAP igual a $37,7\text{cm}$ (árvore 1, Tabela 2), deve-se disponibilizar uma área vital de $89,4\text{m}^2$ para que ela cresça sem concorrência.

A relação do diâmetro da copa sobre a altura total (índice de abrangência) variou de $0,314$ até $0,635$. As árvores número 3 e 9 apresentaram variação significativa no índice de abrangência ($0,635$ e $0,314$) se comparadas com suas alturas totais ($23,1$ e $23,3\text{m}$). Neste sentido, a árvore número 3 encontrou condições mais favoráveis ao desenvolvimento da copa do que a árvore número 9. Este fato ficou evidenciado na dimensão dos anéis de crescimento, facilmente observáveis na análise de tronco.

O formal de copa, expresso pela relação do diâmetro de copa sobre o comprimento, dá uma idéia de seu volume. De modo geral, entre duas árvores de mesmo diâmetro de copa, por exemplo, $10,7\text{m}$ (árvore 1) e $10,4\text{m}$ (árvore 2), a mais produtiva é àquela com menor formal de copa, neste caso, a árvore número 2. Assim, quanto mais longa a copa, mais produtiva tende a ser a árvore, para o mesmo diâmetro a altura do peito.

4.4 Variáveis de competição

A Tabela 5 apresenta as estimativas da competição existente em cada unidade amostral, por árvore-amostra.

O uso do Índice de Glover & Hool (modificado), calculado pela relação do diâmetro da árvore considerada ao quadrado sobre o diâmetro médio das árvores da parcela também ao quadrado, variou entre $1,55$ e $7,30$. Quanto maior essa relação, menor a influência das árvores vizinhas sobre a árvore considerada, ou seja, a competição é menor. Analisando a Tabela 6, percebe-se que houve correlação entre a área da unidade amostral e o Índice de Glover &

Hool. À medida que se aumentou a área da unidade amostral, aumentou-se, por consequência, o Índice de Glover & Hool. Este comportamento pode também ser percebido na Tabela 5, na qual os menores valores do Índice de Glover & Hool estão associados aos menores diâmetros de copa.

TABELA 5 - Estimativas de competição entre árvores, por unidade amostral.

Árv N°	Área Parcela	I _{gh}	BAL	BALcor	I _H	I _r
1	356,3	3,746618	0,000000	0,000000	10,758161	4,761371
2	338,2	4,439168	0,000000	0,000000	15,488531	2,825040
3	676,6	7,302910	0,000000	0,000000	28,746726	4,419943
4	206,1	3,790287	0,148923	0,034324	4,034012	0,649120
5	624,6	3,768057	0,643656	0,045070	10,594485	3,728523
6	109,8	2,120841	0,226022	0,039068	14,092846	0,944253
7	267,4	5,360128	0,000000	0,000000	5,215984	1,242894
8	318,9	3,169635	0,000000	0,000000	6,569493	1,517605
9	168,6	1,738752	0,400725	0,099631	3,492888	0,651017
10	323,7	2,786962	0,779149	0,058812	7,656733	2,759743
11	214,0	1,550120	0,267871	0,042359	2,644222	0,496951

Sendo: I_{gh} = Índice de Glover & Hool; BAL = Área basal das árvores maiores que a considerada; BALcor = Índice de BAL corrigido; I_H = Índice de Hegyi; I_r = Índice de área potencial disponível.

O Índice de BAL oscilou ente zero e 0,779m², não apresentando correlação significativa com o aumento da área da unidade.

Ao se comparar a relação h/d (Tabela 4) com o Índice BAL corrigido das árvores selecionadas, observamos que as duas árvores de maior relação h/d (árvores 9 e 6) apresentaram índices de BAL corrigido elevados, indicando que a competição pode ter influenciado o crescimento em diâmetro desses indivíduos.

TABELA 6 - Relação entre os índices de concorrência e a área da unidade amostral.

F Prob>F	Área Parcela	I _{gh}	BAL	BAL cor	I _H	I _r
Área	1,0	0,6980	0,0537	-0,3486	0,6581	0,8065
Parcela	0,0	0,0169	0,8754	0,2934	0,0277	0,0027
I _{gh}	0,6980	1,0	-0,4627	-0,6718	0,7015	0,5795
	0,0169	0,0	0,1519	0,0236	0,0161	0,0617
BAL	0,0537	-0,4626	1,0	0,7541	-0,2771	-0,0286
	0,8754	0,1519	0,0	0,0073	0,4095	0,9336
BAL cor	-0,3486	-0,6718	0,7541	1,0	-0,4440	-0,4268
	0,2934	0,0236	0,0073	0,0	0,1713	0,1905
I _H	0,6581	0,7016	-0,2771	-0,4440	1,0	0,6686
	0,0277	0,0161	0,4095	0,1713	0,0	0,0245
I _r	0,8065	0,5795	-0,0286	-0,4268	0,6686	1,0
	0,0027	0,0617	0,9336	0,1905	0,0245	0,0

Sendo: F = Valor de significância calculado pelo teste de F ; $\text{Prob}>F$ = Probabilidade de significância para o valor de F ; I_{gh} = Índice de Glover & Hool; BAL = Área basal das árvores maiores que a considerada; BAL_{cor} = Índice de BAL corrigido; I_H = Índice de Hegyi; I_r = Índice de área potencial disponível.

Esber (2003), ao estudar o crescimento de *Cedrela fissilis* (Vellozo) Mart., no município de Santa Maria-RS, utilizou, dentre outras variáveis de concorrência, o índice BAL e o Índice Hegyi para explicar o desenvolvimento diferenciado entre as árvores analisadas. Para o índice BAL , foram encontrados valores que variaram de 0,363 a 2,513, em parcelas de várias dimensões, resultando num BAL médio para o povoamento igual a 0,897. Em relação ao índice Hegyi, foram encontrados níveis oscilando entre o mínimo, de 0,510, e o máximo, de 27,215.

Para o cálculo estimativa da concorrência pelo Índice de Hegyi, deve-se considerar somente os indivíduos competidores, pois a inclusão de árvores menores tende a distorcê-lo, dificultando a interpretação. Por exemplo, ao se analisar a árvore 3, com Índice de Hegyi igual a 28,75, conclui-se que há elevada competição entre os indivíduos desta parcela. Porém, ao se observar o Índice BAL corrigido desta árvore, percebe-se que não há indivíduos maiores que ela dentro da unidade amostral. Com isto, constata-se que valores elevados de Hegyi (I_H) significam grande número de árvores finas dentro da unidade amostral, indicando baixa competição com a árvore considerada.

Já o Índice I_r mostrou que, quanto maior seu valor, maior é o espaço disponível para a árvore considerada. Deste modo, ao se analisar a Tabela 5, conclui-se que as árvores 1 e 3 apresentaram as maiores áreas disponíveis para o crescimento. Da mesma maneira, a árvore 6, com maior relação h/d , apresentou baixo valor do Índice I_r , indicando alta competição sobre esta árvore.

4.5 Incremento Volumétrico Percentual ($i_v\%$)

A partir das análises de tronco efetuadas sobre cada árvore selecionada, constatou-se que o incremento volumétrico percentual apresentou tendência exponencial negativa, diminuindo progressivamente com o aumento do DAP. A seguir, estão apresentados os incrementos por árvore-amostra.

O estudo retrospectivo do crescimento volumétrico da árvore 1 mostrou que ocorreram variações gradativas na redução do incremento com o aumento do diâmetro. O máximo incremento observado foi de 35%, aos 12 anos e 9cm de DAP, e o mínimo de 0,8% aos 72

anos com 31,0cm. Verificou-se também para esta árvore, que a altura do fuste igual a 8,0 metros foi alcançada aos 10 anos.

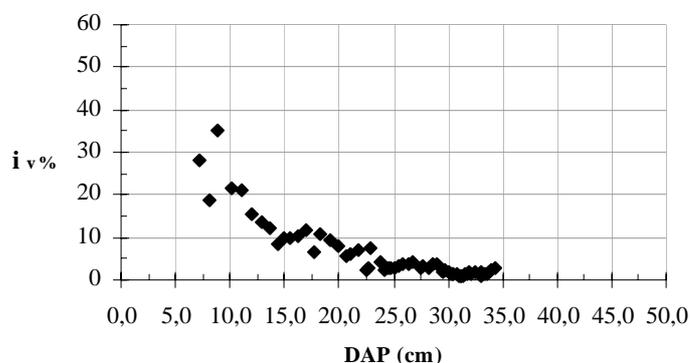


FIGURA 3 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 1.

Tais valores são considerados baixos quando comparados com a tendência do incremento corrente anual em volume apresentada para a espécie *Tabebuia impetiginosa* Martius ex A.P. de Candolle. Em estudo realizado na região de Santa Maria, na Depressão Central, foram encontrados incrementos máximos de 54,02%, aos 5,2cm de dap, enquanto que o mínimo foi de 12,26% aos 29,97cm de dap (Schneider *et al.*, 2000b).

A árvore 2 apresentou ampla variação no crescimento em volume quando apresentava dimensão entre 6 e 15cm de DAP. A partir dessa dimensão, não houve oscilações bruscas no incremento volumétrico, apenas uma redução gradual na taxa de incremento com o aumento do diâmetro (Figura 4).

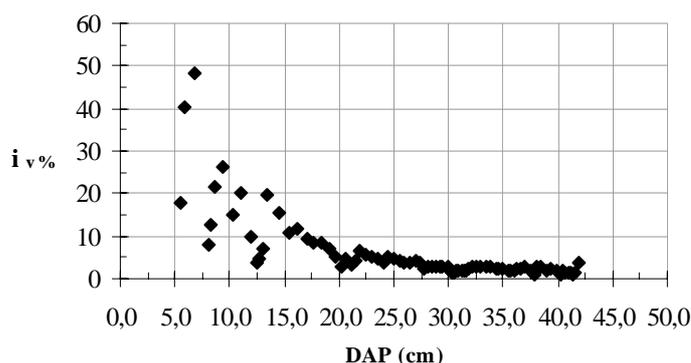


FIGURA 4 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 2.

As maiores taxas de incremento foram de 40 e 48%, aos 28 e 29 anos respectivamente, estando relacionadas aos diâmetros de 6 e 7cm de DAP. As menores taxas ocorreram por volta dos 40cm de DAP, com incrementos da ordem de 1,1%. Para esta árvore, a altura do

fuste igual a 7,1 metros foi atingida aos 27 anos, cerca de um quarto de sua idade no momento do corte, ou seja, 110 anos.

Scheeren (2002), ao analisar o crescimento de dois indivíduos da espécie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud, um pertencente ao extrato médio e outro ao extrato dominante, na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, calculou taxas médias de incremento médio anual em volume comercial igual a 18,05%, aos 7cm de DAP, decrescendo até 2,22% aos 37,1cm de diâmetro. O autor concluiu ainda que o baixo desenvolvimento das árvores poderia ser atribuído à elevada concorrência existente na floresta natural, recomendando, naquela situação, a aplicação de uma prática de manejo adequada com a finalidade de elevar as taxas de crescimento anuais, o que resulta numa elevação da rentabilidade econômica da espécie.

No estudo da árvore 3, constatou-se um lento desenvolvimento inicial. No período compreendido entre as idades de 35 e 51 anos, quando a árvore apresentava diâmetro à altura do peito entre 5 e 7,5cm, o incremento volumétrico não ultrapassou 7% (Figura 5). A partir desta dimensão, houve uma liberação do crescimento, alcançando-se incrementos de até 28%, aos 53 anos e 9cm de diâmetro, com posterior alternância nas taxas de incremento com fases de crescimento promissor e crescimento lento, até o momento do corte da árvore aos 132 anos. Essa tendência, apresentada na Figura 5, pode ser melhor entendida através da visualização da Figura 6, analisando-se os incrementos entre os anéis de crescimento. Tais variações podem ser atribuídas à competição sofrida pela árvore durante sua vida. A origem, o grau e o tipo de competição não podem ser esclarecidos no momento atual, sendo possível somente observar seus efeitos.

Devido à ocorrência desta variabilidade inicial, decidiu-se por desconsiderar os incrementos iniciais (diâmetro menor que 7,5cm) desta árvore.

Outra informação importante referente à árvore 3, diz respeito ao crescimento em altura desta árvore, em que a altura do fuste igual a 8,0 metros foi alcançada aos 32 anos.

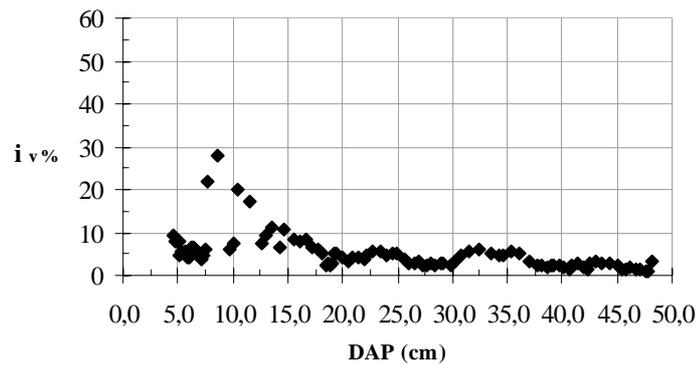


FIGURA 5 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 3.

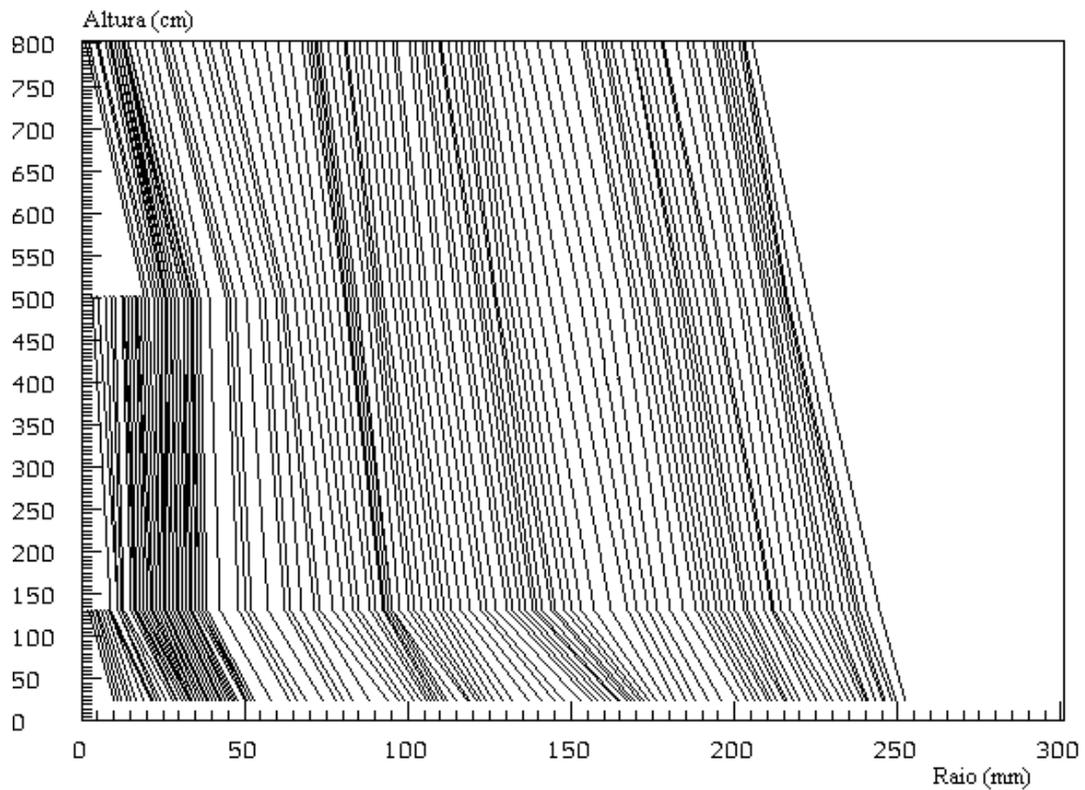


FIGURA 6 - Perfil longitudinal da árvore 3.

Schneider *et al.* (2001c), utilizando metodologia semelhante, para estudar o crescimento de *Luehea divaricata* Mart., na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, encontraram taxas de incremento corrente anual percentual em volume comercial, variando de 32% no diâmetro de 3,8cm, até incrementos da ordem de 3,3%, aos 40,0cm de DAP.

A árvore 4 mostrou-se homogênea quanto ao crescimento em volume, não apresentando as variações observadas nas árvores anteriores. O incremento volumétrico percentual partiu do máximo de 36%, aos 11 anos e 2,2cm de DAP, chegando ao incremento final de 0,9%, aos 124 anos e com 39,2cm de DAP. A altura de 3,40 metros, por sua vez, foi alcançada aos 11 anos de idade.

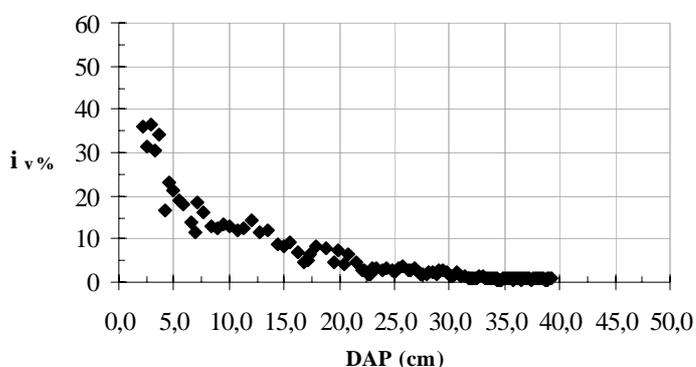


FIGURA 7 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 4.

Já na árvore 5, foi novamente detectada variação no incremento ao longo dos seus 153 anos. Como pode ser visto na Figura 8, houve picos de incremento, como por exemplo, aos 15cm de diâmetro, e fases com estagnação no crescimento, por exemplo, entre os diâmetros 7cm e 9cm, não ultrapassando 5% de incremento, e, entre os diâmetros de 34cm e 39cm, não ultrapassando 2% de incremento corrente. Nesta análise constatou-se também, que os 6,5 metros de altura de fuste foram alcançados com 17 anos de idade.

Da mesma forma que na árvore 3, decidiu-se por desconsiderar os incrementos iniciais inferiores a 4%, entre os diâmetros de 5 e 10cm, com o objetivo de reduzir a heterogeneidade desta distribuição.

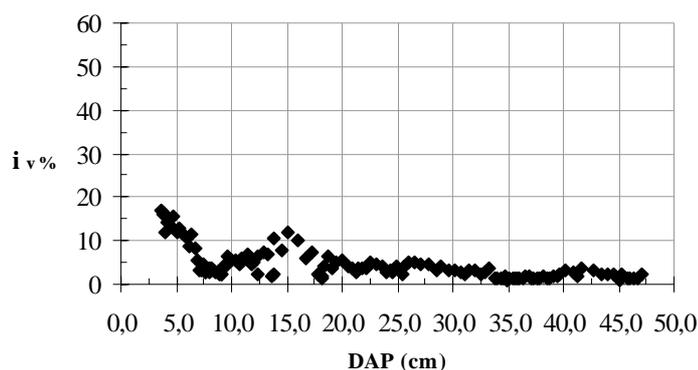


FIGURA 8 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 5.

Na árvore 6, a tendência de crescimento em volume foi bem diferente da árvore número 4, que se mostrou homogênea quanto à distribuição dos incrementos. Observando-se a Figura 9, nota-se que a curva de incremento partiu de um $i_v\%$ de 10,5%, aos 21 anos, para logo a seguir atingir valor máximo aos 6cm de DAP, com $i_v\%$ igual a 18%. Observa-se também que, a partir dos 18cm, a árvore apresentou taxas de incremento ascendentes não inferiores a 5%, indicando que, aos 71 anos, a árvore está em pleno crescimento volumétrico. Para esta árvore, verificou-se ainda que aos 21 anos de idade o fuste media 9,77 metros de altura.

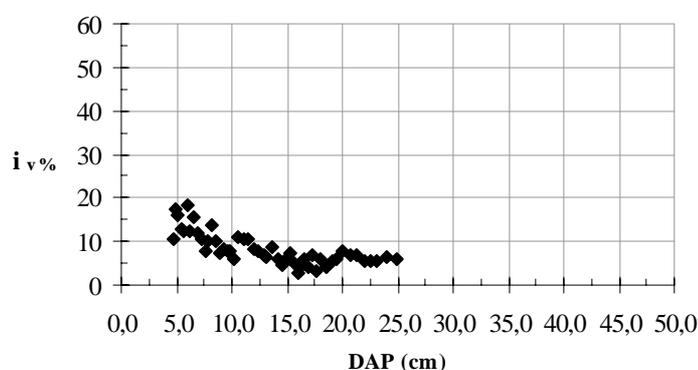


FIGURA 9 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 6.

A tendência de incremento volumétrico da árvore número 7 partiu de um valor máximo de 30% aos 22 anos e 8cm de DAP com redução ao longo do tempo até valores mínimos de 0,4% em torno dos 43cm de diâmetro aos 95 anos. Verifica-se, na Figura 10, que houve redução na taxa de incremento a partir dos 40cm de diâmetro, a qual pode ser indicativo do início da fase senil deste indivíduo. Verificou-se também que a altura do fuste igual a 8,8 metros foi alcançada após um período de 22 anos de crescimento.

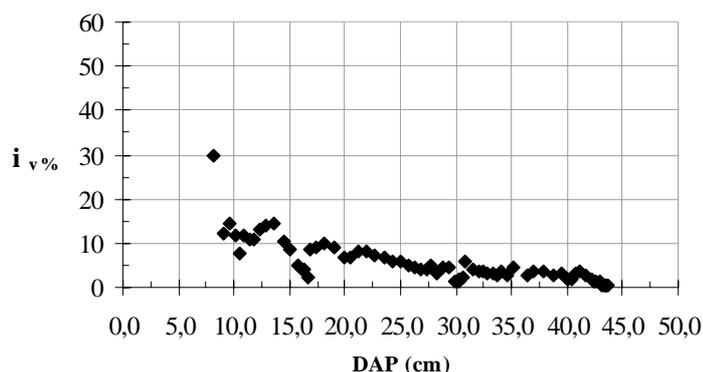


FIGURA 10 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 7.

Finger (1996), ao analisar o crescimento de dois exemplares da espécie *Astronium balansae*, um dominante e outro dominado, verificou o culmínio do incremento corrente anual em diâmetro aos 6 anos, reduzindo-se até, aproximadamente, um valor o mínimo aos 12 anos de idade. O autor obteve, a partir dessas análises, modelos matemáticos com bom ajuste e precisão.

Essas taxas de incremento, relativas à árvore número 7, são consideradas baixas quando comparadas ao crescimento da espécie *Helietta apiculata* Benth, estudado por Schneider (2000a), no município de Santa Maria-RS. O autor encontrou, nesta investigação, incrementos máximos de 34,4%, aos 6,8cm de DAP, e incrementos percentuais mínimos em volume comercial de 9,6%, aos 13,7cm de DAP.

A árvore número 8 apresentou uma curva típica exponencial negativa, não apresentando grandes oscilações nas taxas anuais de incremento. A curva partiu de um valor inicial de 20% com 12cm de diâmetro e 29 aos de idade, passando por uma queda no incremento por volta dos 15cm de DAP e atingindo taxas mínimas de 2% aos 42cm de diâmetro. A partir deste ponto, constatou-se uma elevação nas taxas de incremento, chegando a aproximadamente 3%, com DAP igual a 43cm aos 91 anos (Figura 11).

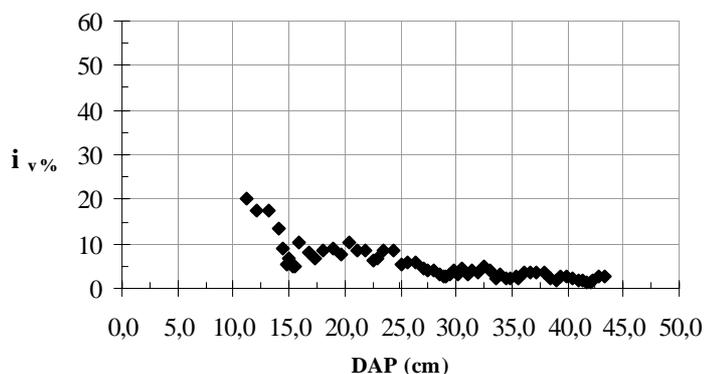


FIGURA 11 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 8

Esber (2003), investigando o crescimento em volume comercial de três exemplares arbóreos de *Cedrela fissilis* (Vellozo) Mart., na região de Santa Maria, verificou que o máximo incremento médio anual em volume foi apresentado pela árvore número 3, com taxas iniciais de 11,1%, aos 10cm de DAP, reduzindo-se a 4,6% com 36cm de DAP.

No estudo retrospectivo da árvore número 9, observa-se que a tendência do incremento iniciou com 12%, aos 11cm de DAP com 36 anos de idade (período em que atingiu altura do fuste igual a 11,9 metros) e, logo em seguida, atingiu taxa máxima de 21%, aos 12cm, reduzindo-se posteriormente a valores mínimos da ordem de 1,6%, aos 32cm de diâmetro. A partir dessa dimensão, ocorreram elevações nas taxas de crescimento em volume até 3% aproximadamente, aos 84 anos 2 33cm de DAP. Destaca-se, também o declínio, quase linear, no incremento entre os DAP de 23 e 26cm (Figura 12).

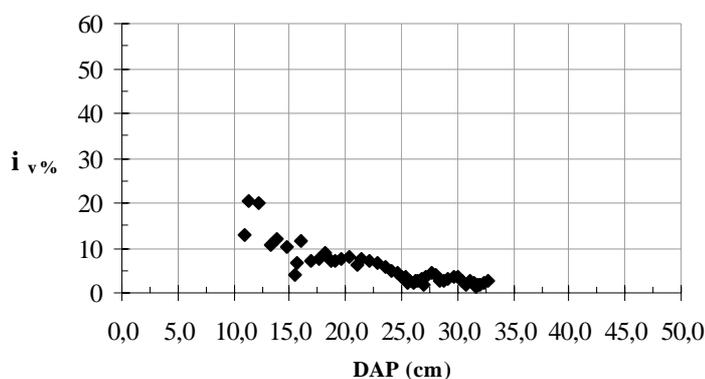


FIGURA 12 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 9.

O comportamento do $i_v\%$ da árvore número 10 não diferiu substancialmente das demais árvores até então analisadas. Constatou-se que o ponto de máximo incremento ocorreu na dimensão de DAP igual a 15cm, com incremento de 16% aos 25 anos de idade (com altura de fuste igual a 12,65 metros), e diminuindo de forma acentuada até atingir incrementos na faixa de 1,5%, com diâmetros em torno de 34cm de DAP e 72 anos.

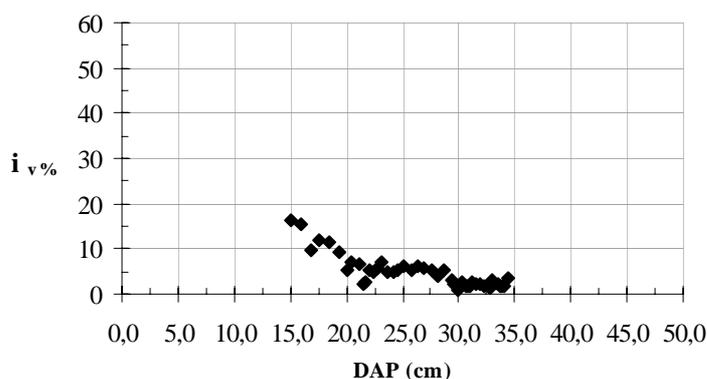


FIGURA 13 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 10.

Já na árvore 11, verificou-se a ocorrência de grandes oscilações nas taxas de incremento corrente. Estas variações podem estar relacionadas com a capacidade da árvore em responder a condições propícias ao crescimento. A exemplo disso, chama-se atenção para as quatro últimas taxas de incremento, que variaram de 2,5%, no diâmetro de 31cm, até 6,7%, no diâmetro 32,4cm aos 94 anos e também, ao fato desta árvore ter levado um período de 61 anos para atingir a altura do fuste igual a 10,3 metros.

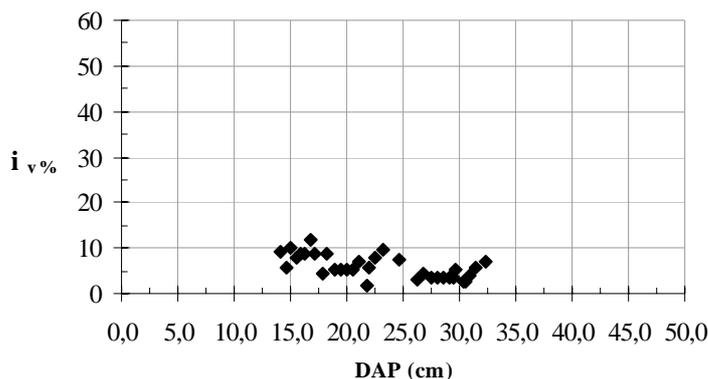


FIGURA 14 - Estudo retrospectivo do $i_v\%$ para a árvore 11.

Estes dados podem ser comparados às informações já conhecidas para *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez crescendo na região da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, a partir de estudo específico realizado por Tonini *et al.* (2003). Os autores verificaram, nos resultados de análise de tronco em duas árvores dominantes, valores médios de incremento corrente em volume comercial iguais a 50,8%, registrado aos 2,1cm de DAP, e incrementos da ordem de 4,7%, no diâmetro de 32,0cm. Verificou-se ainda neste estudo a ocorrência de incrementos em altura bem elevados, onde, por exemplo, a árvore 1 alcançou altura comercial igual a 9,5 metros aos 6 anos, aproximadamente, enquanto que a árvore 2 atingiu 7,6 metros de altura comercial por volta dos 11 anos de idade.

De qualquer forma, os resultados obtidos através das análises proferidas nas onze (11) árvores investigadas entram em consonância a cerca de algumas constatações já observadas por Tonini *et al* (2003), no qual se concluiu que a espécie *Nectandra megapotamica* Mez., além de apresentar anéis de crescimento diferenciáveis propícios a estudos de análise de tronco, também apresentaram curva de incremento porcentual em volume comercial (ICA%) com tendência exponencial negativa, passível de modelar através do uso de funções de crescimento.

4.6 Ajuste da equação de regressão para $i_v\%$

Através da análise de correlação de Pearson, foram determinadas as variáveis mais indicadas para o ajuste da equação de incremento volumétrico percentual. Na tabela 7, estão discriminados os valores de correlação gerados a partir da análise entre 769 pares de variáveis dependentes e independentes. Conforme a Tabela 7, a correlação mais baixa foi constatada entre as variáveis LNY e X12, igual a 0,30686, e a mais alta, entre as variáveis Y13 e LNX, com correlação igual a -0,83843.

TABELA 7 - Análise de Correlação de Pearson entre variáveis dependentes e independentes para modelagem do $i_v\%$.

V. Dep. V. Indep.	Y	Y1	LNY	LNY1	LNY11	Y12	Y13
X	-0,72074	-0,72074	-0,81873	-0,81873	0,73833	-0,80725	-0,80725
X1	0,77644	0,77644	0,66030	0,66030	-0,76153	0,75051	0,75051
X2	-0,62710	-0,62710	-0,77579	-0,77579	0,65430	-0,73354	-0,73354
X3	-0,54400	-0,54400	-0,71384	-0,71384	0,57579	-0,65550	-0,65550
X11	0,63906	0,63906	0,45408	0,45408	-0,61774	0,56484	0,56484
X12	0,50015	0,50015	0,30686	0,30686	-0,48087	0,41145	0,41145
LNX	-0,79741	-0,79741	-0,80049	-0,80049	0,79919	-0,83843	-0,83843
LNX1	0,78203	0,78203	0,67485	0,67485	-0,76945	0,76034	0,76034
LNX2	-0,77402	-0,77402	-0,81886	-0,81886	0,78227	-0,83621	-0,83621
LNX12	0,69993	0,69993	0,54334	0,54334	-0,68273	0,64466	0,64466
RQX	-0,76504	-0,76504	-0,82145	-0,82145	0,77542	-0,83253	-0,83253
RQX1	0,80475	0,80475	0,74690	0,74690	-0,79751	0,81301	0,81301

Obs.: Veja definição das variáveis na Tabela 1.

Verifica-se, ainda, que não houve diferença de correlação entre as variáveis independentes e o incremento tomado tanto na forma percentual ($Y = i_v\%$) como na absoluta ($Y1 = i_v$). Na Tabela 7, também estão destacadas as cinco maiores correlações para análise de decisão sobre o melhor modelo de $i_v\%$.

As estatísticas das cinco equações selecionadas para descrever o incremento volumétrico percentual são apresentadas na Tabela 8.

Nesta tabela, pode-se observar que a árvore número 4 (Figura 7) possibilitou bom ajuste de equação de regressão, independentemente do modelo utilizado, com coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,9269 a 0,9619 e eficiência de 0,79 a 0,95. No entanto, com a

árvore número 11 (Figura14), foram obtidos os piores ajustes, com coeficientes entre 0,3471 e 0,3896, apresentando eficiências em torno de 0,40.

Verifica-se, ainda na Tabela 8, que as equações com maiores Correlações de Pearson geraram os melhores ajustes. A eficiência das cinco equações para o conjunto das 11 árvores-amostra pode ser comprovada analisando-se o somatório das estatísticas R^2 , $S_{yx\%}$ e E, em cada modelo testado.

TABELA 8 - Comparação estatística do ajuste dos modelos de $i_v\%$.

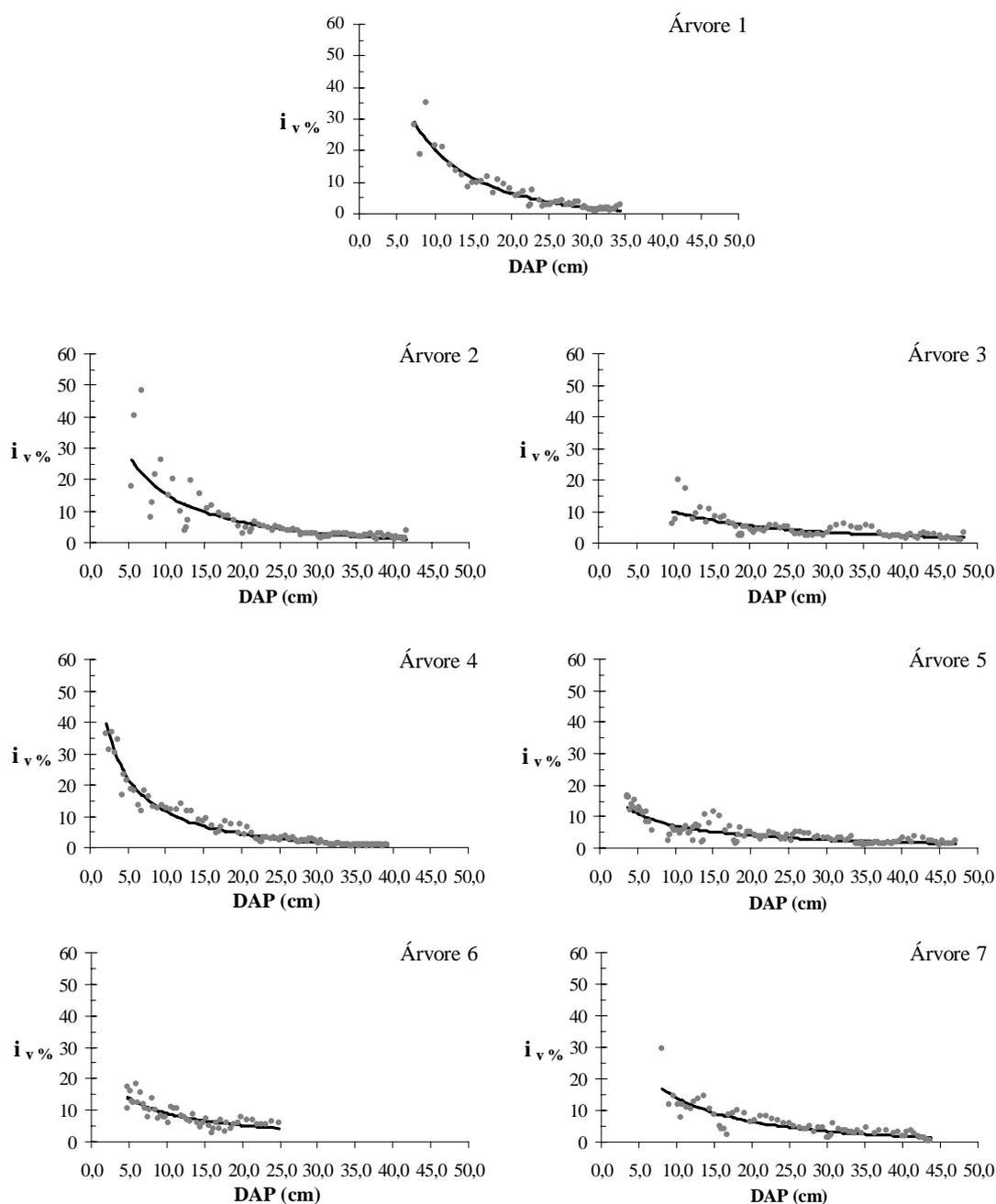
M O D E L O I : Y 1 3 = L N X (p = -0.83843)												
EST.	Á r v o r e N °											Soma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
r^2	0,9202	0,7817	0,5937	0,9619	0,7346	0,6651	0,7723	0,7755	0,8216	0,7764	0,3896	8,1926
$S_{yx\%}$	15,36	25,16	21,22	13,47	20,31	12,60	21,41	16,26	15,41	17,49	17,85	196,54
E	0,90	0,69	0,55	0,95	0,76	0,69	0,75	0,74	0,81	0,81	0,41	8,06
M O D E L O II : Y 1 3 = L N X 2 (p = -0.83621)												
EST.	Á r v o r e N °											Soma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
r^2	0,9126	0,7558	0,5775	0,9591	0,6999	0,6325	0,7731	0,7675	0,8167	0,7677	0,3850	8,0474
$S_{yx\%}$	16,07	26,64	21,64	13,96	21,59	13,20	21,37	16,55	15,62	17,83	17,91	202,38
E	0,89	0,65	0,53	0,94	0,71	0,66	0,73	0,72	0,80	0,80	0,52	7,95
M O D E L O III : Y 1 3 = R Q X (p = -0.83253)												
EST	Á r v o r e N °											Soma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
r^2	0,9064	0,7416	0,5678	0,9549	0,6886	0,6231	0,7731	0,7620	0,8133	0,7622	0,3825	7,9755
$S_{yx\%}$	16,63	27,40	21,89	14,66	21,99	13,37	21,37	16,75	15,77	18,04	17,95	205,82
E	0,88	0,63	0,51	0,93	0,69	0,65	0,72	0,71	0,79	0,79	0,40	7,70
M O D E L O IV : L N Y = R Q X (p = -0.82145)												
EST	Á r v o r e N °											Soma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
r^2	0,8835	0,8199	0,5963	0,9368	0,6803	0,5974	0,6874	0,7936	0,8020	0,7264	0,3471	7,8707
$S_{yx\%}$	25,71	27,38	31,09	31,68	33,75	13,42	44,11	19,71	20,62	28,38	23,16	299,01
E	0,87	0,67	0,53	0,83	0,72	0,66	0,74	0,74	0,81	0,83	0,39	7,79
M O D E L O V : L N Y = L N X 2 (p = -0.81886)												
EST	Á r v o r e N °											Soma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
r^2	0,8792	0,8233	0,5986	0,9269	0,6840	0,6061	0,6748	0,7918	0,7998	0,7275	0,3498	7,8618
$S_{yx\%}$	26,18	27,12	31,01	34,08	33,56	13,28	45,00	19,80	20,74	28,32	23,11	302,2
E	0,83	0,69	0,54	0,79	0,74	0,67	0,21	0,75	0,81	0,84	0,39	7,26

Sendo: Est.= Estatística; p = Coeficiente de Correlação de Pearson; r^2 = Coeficiente de determinação; $S_{yx\%}$ = Erro padrão da estimativa em porcentagem; E = Eficiência do modelo.

Desta maneira, selecionou-se o modelo I, expresso como $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln(\text{dap}))^2$ sendo aquele que melhor explica a tendência do incremento das árvores selecionadas.

Apesar da alta eficiência atribuída a este modelo, cabe ainda uma comparação gráfica entre as estimativas e os dados observados, a fim de verificar se o modelo realmente representa a média desses valores.

A Figura 15 apresenta as estimativas da função sobre os valores observados de incremento volumétrico percentual, por árvore-amostra.



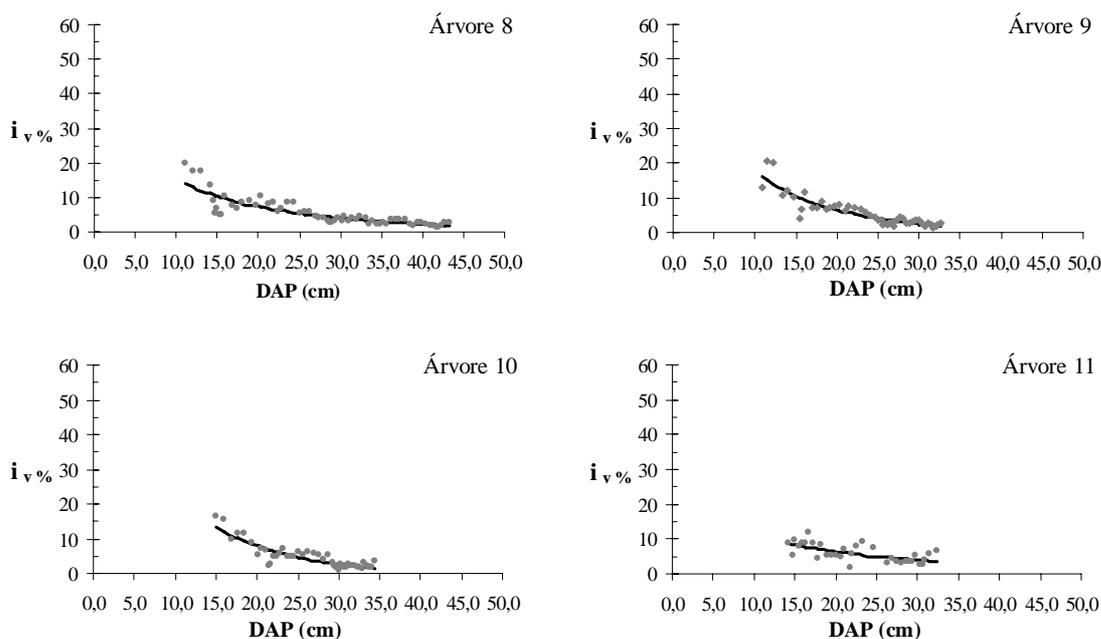


FIGURA 15 - Valores ajustados de incremento volumétrico percentual em função do diâmetro, por árvore-amostra.

Observa-se, nos gráficos da Figura 15, o bom ajuste apresentado pela função de incremento ajustada por árvore individual, sobretudo nas árvores com menor variação do incremento volumétrico percentual.

4.7 Análise de covariância do $i_v\%$

Na análise de covariância, testou-se a hipótese da não-diferença de nível e inclinação na tendência do incremento volumétrico percentual, entre as árvores selecionadas. Este procedimento foi necessário para verificar a hipótese de uniformidade na tendência de crescimento em volume das árvores selecionadas. Ou melhor, para testar a possibilidade de uso de uma equação única para representar o conjunto das árvores-amostra de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez Sendo assim, primeiramente, testou-se se havia diferença de inclinação e nível no conjunto das árvores selecionadas e, posteriormente, analisou-se quais árvore eram semelhantes entre si.

A Tabela 9 apresenta o resultado da análise covariância referente ao teste das hipóteses de igual inclinação e nível, para o conjunto das árvores de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.

TABELA 9 - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação para o conjunto das árvores selecionadas.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Modelo	21	602,54486843	28,69261278	184,90	0,0001
Árvore	10	34,22406932	3,42240693	22,05	0,0001
ln(DAP)	1	507,77395228	507,77395228	3272,22	0,0001
ln(DAP)*Árvore	10	60,54684683	6,05468468	39,02	0,0001
Erro	747	115,91752452	0,15517741		
Total	768	718,46239295			

Sendo: FV = Fontes de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados do tipo I; QM = Quadrado médio; F = Valor de significância calculado pelo teste de F; Prob>F = Probabilidade de significância para o valor de F; ln = Logaritmo neperiano.

De acordo com a Tabela 9, os valores de F iguais a 22,05 e 39,02, para as fontes de variação *Árvore* e *ln(dap)*Árvore*, indicam que a hipótese de não igualdade de inclinação e nível para o conjunto das árvores selecionadas é significativa, com probabilidade maior que 0,001. Este resultado aponta que pelo menos uma árvore difere das demais em relação à tendência de crescimento em volume, indicando não ser possível representar o conjunto das árvores-amostra por uma única equação de regressão.

Para verificar quais as árvores diferem entre si, aplicou-se novamente a análise de covariância contrastando-se as árvores selecionadas (Tabela 10). Nesta tabela, estão destacados os 17 contrastes não-significativos, aqueles nos quais não houve diferença de inclinação nas curvas de incremento volumétrico percentual. Observa-se ainda, na Tabela 10, que a inclinação da árvore número 2, por exemplo, não diferiu significativamente das árvores 7, 8 e 9. Entretanto, as árvores 7 e 9 diferiram significativamente entre si, impedindo a formação de um grupo.

TABELA 10 - Resultado da análise de covariância para diferença de inclinação entre as árvores selecionadas de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.

F	Á R V O R E N °										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	18,62	105,62	81,16	195,32	139,55	42,73	41,3	4,41	0,18	31,67
2	0,0001	-	26,45	1,53	81,19	30,77	2,97	1,8	2,27	7,04	4,24
3	0,0001	0,0001	-	53,87	3,13	0,7	13,19	12,43	33,61	38,77	0,12
4	0,0001	0,2178	0,0001	-	213,91	79,73	2,55	1,37	12,55	26,89	8,71
5	0,0001	0,0001	0,0786	0,0001	-	0,41	44,13	32,56	57,79	56,5	1,31
6	0,0001	0,0001	0,4058	0,0001	0,5207	-	19	20,4	48,75	53,99	0,72
7	0,0001	0,0870	0,0004	0,1121	0,0001	0,0001	-	0,03	8,99	16,04	2,11
8	0,0001	0,1825	0,0006	0,2441	0,0001	0,0001	0,8732	-	9,56	18,91	2,91
9	0,0381	0,1341	0,0001	0,0005	0,0001	0,0001	0,0033	0,0025	-	3,26	13,13
10	0,6741	0,009	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0745	-	20,5
11	0,0001	0,0417	0,7246	0,0037	0,2536	0,4002	0,1498	0,0916	0,0005	0,0001	-

Sendo: F = Valor de significância calculado pelo teste de F, com soma de quadrados do tipo I; Prob>F = Probabilidade de significância para o valor de F.

A partir dos resultados da Tabela 10, foram formados os grupos de árvores semelhantes quanto à tendência de variação do incremento em volume percentual.

Os grupos resultantes foram:

a) Grupo I: contendo as árvores número 1, 9 e 10. Conforme a Figura 16, caracterizou-se por conter as três árvores com maiores coeficientes angulares, em relação aos demais grupos.

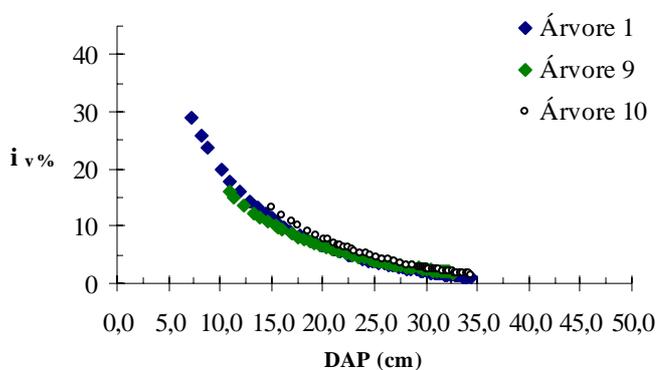


FIGURA 16 - Tendência de crescimento em volume percentual para as árvores 1, 9 e 10 (Grupo I).

Observa-se, pela Figura 16, a confirmação dos resultados obtidos na análise de covariância, a qual indicou não haver diferença significativa para inclinação entre as árvores 1 e 10, existindo apenas leve diferença de inclinação nas árvores 1 e 9, que pode ser percebida na Figura 16. Contudo, não houve diferença significativa de inclinação quando analisadas as três árvores em conjunto.

b) Grupo II: foram incluídas nesse grupo as árvores de número 2, 4, 7 e 8, por apresentarem tendência uniforme (Figura 17).

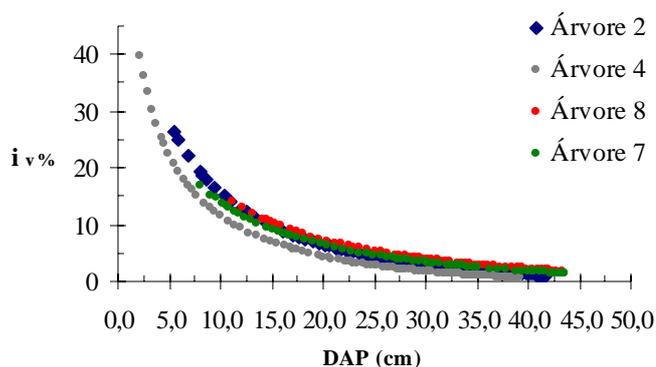


FIGURA 17 - Tendência de crescimento em volume percentual para as árvores 2, 4, 7 e 8 (Grupo II).

No Grupo II, os indivíduos mais semelhantes quanto à inclinação foram as árvores 7 e 8, com F calculado igual a 0,03 e probabilidade de confiança de 87% (Tabela 10). A menor semelhança entre as inclinações, para este grupo, foi verificada entre as árvores 2 e 7, com f calculado igual a 2,97 e probabilidade de 8,7%

c) Grupo III: está representado pelas árvores 3, 5, 6 e 11, conforme apresentado na Figura 18.

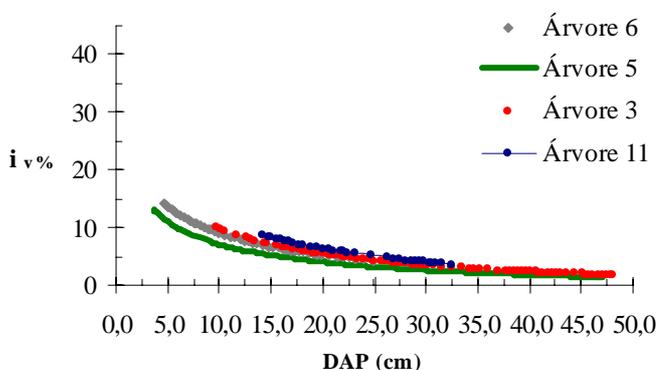


FIGURA 18 - Tendência de crescimento em volume percentual para as árvores 3, 5, 6 e 11 (Grupo III).

Neste Grupo, as árvores 5 e 6 destacaram-se das demais, por apresentarem maior semelhança no crescimento em volume, com F calculado igual a 0,41 e probabilidade de confiança de 52%.

O Grupo III caracterizou-se por apresentar as maiores variações em nível entre as curvas estudadas e, também, por apresentar as menores tendências de crescimento em $I_v\%$, dentre os grupos formados.

Na Tabela 11, encontram-se os resultados da análise de covariância para a hipótese da igualdade de nível entre as árvores estudadas. Foram encontrados 20 contrastes não-significativos com relação ao nível das curvas analisadas. Porém, a análise da hipótese da igualdade de nível não demonstrou a mesma eficiência verificada na covariância para testar diferença de inclinação. Este fato pode ser comprovado através da comparação das árvores 3 e 5 na Figura 18. Nota-se que estas apresentam mesma tendência em crescimento volumétrico com o aumento do DAP, porém percebe-se visualmente que estão em níveis diferentes. Na Tabela 11, a covariância indica a não-diferença entre níveis nessas árvores, com valor de F não-significativo igual 0,00 e probabilidade de confiança igual a 0,952.

TABELA 11 - Resultado da análise de covariância para diferença de nível entre as árvores selecionadas de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.

F Prob>F	Á R V O R E N °										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0,05	6,29	15,72	7,21	107,3	0,08	0,79	1,72	2,86	8,8
2	0,8299	-	5,48	11,36	6,99	57,36	0,21	0,23	0,60	2,10	4,18
3	0,0133	0,0205	-	0,12	0,00	135,12	4,06	10,61	11,95	0,50	20,51
4	0,0001	0,0009	0,7277	-	0,22	290,72	9,35	24,71	28,54	1,85	46,67
5	0,0079	0,0088	0,952	0,6431	-	159,83	4,93	12,44	13,77	0,51	23,95
6	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	-	81,32	82,73	69,92	117,64	25,94
7	0,7752	0,6510	0,0457	0,0026	0,0277	0,0001	-	1,1	1,85	1,37	7,31
8	0,3756	0,6327	0,0014	0,0001	0,0005	0,0001	0,2965	-	0,19	5,82	4,69
9	0,1927	0,4384	0,0008	0,0001	0,0003	0,0001	0,1766	0,6651	-	7,52	3,06
10	0,0935	0,1499	0,4811	0,1763	0,4744	0,0001	0,2447	0,0176	0,0073	-	15,52
11	0,0038	0,0433	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,008	0,033	0,0839	0,0002	-

Sendo: F = Valor de significância calculado pelo teste de F , com soma de quadrados do tipo I; $Prob>F$ = Probabilidade de significância para o valor de F .

Através do resultado desse processamento, pôde-se comprovar que os indivíduos selecionados são significativamente diferentes quanto ao padrão de crescimento em volume.

Necessita-se, portanto, de um estudo específico que busque identificar quais variáveis estão relacionadas às diferentes formas de crescimento, ou seja, à variação dos coeficientes b_0 e b_1 .

4.8 Modelagem dos coeficientes da função de $i_v\%$

4.8.1 Análise de correlação de Pearson

Para explicar a variação na tendência do incremento volumétrico percentual entre as árvores-amostra, efetuou-se o procedimento de modelagem dos coeficientes b_0 e b_1 , das equações de regressão de cada árvore.

As variáveis de competição, morfométricas e ambientais, de cada árvore selecionada, foram utilizadas como variáveis independentes no procedimento de modelagem.

Neste procedimento, buscou-se inicialmente conhecer o grau de correlação entre essas variáveis e, deste modo, avaliar o padrão de inter-relações entre os dados mensurados (Tabela 12).

TABELA 12 - Análise de correlação entre os coeficientes b_0 e b_1 e variáveis morfométricas, ambientais e de competição, das árvores selecionadas.

Variáveis	b_0	b_1	Variáveis	b_0	b_1	Variáveis	b_0	b_1
CAP	f -0,3199	0,3208	BALcor	f 0,1309	-0,1497	is	f 0,2623	-0,2758
	Prob>f 0,3376	0,3362		Prob>f 0,7012	0,6605		Prob>f 0,4359	0,4117
hcopa	f 0,5092	-0,4602	I _H	f -0,3146	0,3164	ia	f -0,1791	0,1491
	Prob>f 0,1097	0,1544		Prob>f 0,3461	0,3431		Prob>f 0,5984	0,6617
POSSOC	f 0,1705	-0,1630	I _r	f 0,1236	-0,1388	fc	f 0,4036	-0,3942
	Prob>f 0,6162	0,6321		Prob>f 0,7174	0,6840		Prob>f 0,2184	0,2302
TENDVAL	f -0,3747	0,3795	h	f 0,0505	-0,0112	DECL	f 0,3130	-0,3278
	Prob>f 0,2562	0,2497		Prob>f 0,8827	0,9738		Prob>f 0,3486	0,3251
CCOPA	f -0,0211	0,0618	hf	f 0,3482	-0,2847	POS	f -0,0564	0,0753
	Prob>f 0,9509	0,8567		Prob>f 0,2940	0,3961		Prob>f 0,8691	0,8258
EXPOS	f -0,3419	0,3182	Lc	f -0,4214	0,4073	i _{a10}	f -0,5434	0,6023
	Prob>f 0,3034	0,3402		Prob>f 0,1968	0,2138		Prob>f 0,0840	0,0498
SOLO	f -0,0943	0,1054	dc	f -0,1864	0,1776	i _{a5}	f -0,6942	0,7292
	Prob>f 0,7827	0,7578		Prob>f 0,5831	0,6015		Prob>f 0,0178	0,0109
RAIO	f -0,1864	0,1775	DAP	f -0,3199	0,3208	i _{a2}	f -0,6942	0,5889
	Prob>f 0,5832	0,6016		Prob>f 0,3376	0,3361		Prob>f 0,0178	0,0566
I _{gh}	f -0,1865	0,1784	pc	f -0,4597	0,4306	B ₀	f 1,0000	-0,9963
	Prob>f 0,5830	0,5997		Prob>f 0,1549	0,1861		Prob>f 0,00	0,0001
BALmaior	f 0,1028	-0,1182	h/d	f 0,3169	-0,2931			
	Prob>f 0,7635	0,7292		Prob>f 0,3423	0,3818			

Sendo: CAP = Circunferência à altura do peito; hcopa = Altura de copa; POSSOC = Posição sociológica; TENDVAL = Tendência à valorização; CCOPA = Classe de copa; EXPOS = Exposição do terreno; RAIO = Raio médio de copa; I_{gh} = Índice de Glover & Hool; BALmaior = Índice de BAL; BALcor = Índice de BAL corrigido; I_H = Índice de Hegyi; I_r = Índice da área potencial disponível; h = altura total; hf = altura do fuste; Lc

= Comprimento da copa; dc = Diâmetro de copa; DAP = Diâmetro à altura do peito; pc = Percentagem de copa; h/d = Relação altura diâmetro; is = Índice de saliência; ia = Índice de agrangência; fc = Formal de copa; DECL = Declividade; POS = Posição do terreno; i_{d10} = incremento médio em diâmetro medido nos últimos 10cm do DAP, no sentido casca-medula; i_{d5} = incremento médio em diâmetro medido nos últimos 5cm do DAP, no sentido casca-medula; i_{d2} = incremento médio em diâmetro medido nos últimos 2cm do DAP, no sentido casca-medula; f = Valor de significância calculado pelo teste de f; $\text{Prob}>f$ = Probabilidade de significância para o valor de f; b_0 = Coeficiente angular.

No total, 28 variáveis independentes foram relacionadas aos 11 pares de coeficientes b_0 e b_1 .

Como pode ser observado na tabela, não ocorreram correlações estreitas entre as variáveis independentes e os coeficientes, com exceção das variáveis i_{d10} e i_{d5} . As únicas correlações significativas encontradas foram entre as variáveis i_{d5} versus b_0 , com coeficiente de correlação igual a $-0,69426$, e i_{d5} versus b_1 , com coeficiente igual a $0,72926$. Constata-se, assim, que o incremento médio anual em diâmetro, determinado nos últimos cinco centímetros do DAP (i_{d5}), está significativamente relacionado com a inclinação da curva de incremento volumétrico percentual da árvore considerada.

Essa fraca correlação entre as variáveis parece ser decorrente da grande variabilidade dos dados ambientais, morfométricos e biométricos em relação aos dois coeficientes. Tal fato é plenamente compreendido ao se observar a complexidade do ecossistema florestal de uma Floresta Ombrófila Mista e mesmo de uma floresta equiânea homogênea. Em qualquer dos casos, o sítio influi sobre o crescimento do indivíduo por meio da interação de diferentes fatores, os quais interagindo entre si de forma dinâmica, influenciam o desenvolvimento do indivíduo. Desta forma é esperado que a formulação matemática desses efeitos não seja claramente evidenciada.

A análise de correlação mostra também que não foi verificada a ocorrência de altas correlações entre os coeficientes e as variáveis explicativas utilizadas, indicando que o procedimento de modelagem poderá não apresentar alta significância.

4.8.2 Ajuste e avaliação da precisão dos modelos de b_0 e b_1

Na Tabela 13, está o resultado obtido com o processamento estatístico *forward* para a modelagem do coeficiente b_1 .

O melhor modelo de regressão para descrever o coeficiente b_1 foi expresso por:

$$\hat{b}_1 = -a_0 + a_1.i_{d5} - a_2.h/d + a_3.EXPOS - a_4.I_r + a_5.BALcor. - a_6.Lc$$

Sendo: \hat{b}_1 = Coeficiente b_1 estimado; I_{d5} = Incremento médio em diâmetro até 5cm; h/d = relação altura-diâmetro; EXPOS = Exposição do terreno; I_r = Índice de área potencial disponível; BALcor = Índice de BAL corrigido; Lc = Comprimento de copa

TABELA 13 - Resumo do procedimento *forward* para a modelagem do coeficiente b_1 gerado pela função $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln(dap))^2$, por árvore-amostra.

Passo	Var. Indep.	Estatística dos parâmetros				Estatística do modelo	
		Valor a_j	$S_{yx} \cdot a_j$	t. a_j	Prob>t	R^2_{aj}	$S_{yx\%}$
1	Intercepto	-2,970159	0,39093499	-7,598	0,0001	0,4798	-27,13752
	i_{D5}	3,149357	0,98496314	3,197	0,0109		
2	Intercepto	-1,227387	0,58186638	-2,109	0,0679		
	i_{D5}	3,826410	0,70107624	5,458	0,0006		
	h/d	-3,857335	1,14474479	-3,370	0,0098		
3	Intercepto	-1,835269	0,6275853	-2,923	0,0223	0,8064	-16,55561
	i_{D5}	3,781284	0,62774276	6,024	0,0005		
	h/d	-3,567697	1,03770117	-3,438	0,0109		
	EXPOS	0,180144	0,1048319	1,731	0,1271		
4	Intercepto	-1,252879	0,39432315	-3,177	0,0191	0,9349	-9,60031
	i_{D5}	3,653584	0,36552564	9,995	0,0001		
	h/d	-4,369144	0,63674703	-6,862	0,005		
	EXPOS	0,261371	0,06393855	4,088	0,0064		
	I_r	-0,153973	0,04000033	-3,849	0,0085		
5	Intercepto	-1,067324	0,38520101	-2,771	0,0393	0,9448	-8,83909
	i_{D5}	3,758512	0,34432469	10,916	0,0001		
	h/d	-4,990451	0,72764792	-6,858	0,0010		
	EXPOS	0,250482	0,03855193	-3,568	0,0161		
	I_r	-0,084975	2,14010891	1,442	0,2090		
	BALcor	3,084975	2,14010891	1,442	0,2090		
6	Intercepto	-0,417386	0,09523996	-4,832	0,0119	0,9979	-1,73455
	i_{D5}	4,161792	0,07653711	54,376	0,0001		
	h/d	-6,293321	0,18406012	-34,192	0,0001		
	EXPOS	0,378226	0,01628884	23,220	0,0001		
	I_r	-0,115194	0,00782321	-14,725	0,0001		
	BALcor	5,804187	0,48490091	11,970	0,0003		
	LC	-0,068580	0,00611348	-11,218	0,0004		

Sendo: Var. Indep. = Variável independente; a_j = Coeficientes; $S_{yx} \cdot a_j$ = Erro padrão da estimativa do parâmetro b_j ; t. a_j = Valor de t de Student para os parâmetros ajustados; Prob>t = Nível de significância para o valor t; R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx\%}$ = Erro padrão da estimativa em porcentagem; I_{d5} = Incremento médio em diâmetro até 5cm; h/d = Relação altura diâmetro; EXPOS = Exposição do terreno; I_r = Índice da área potencial disponível; BALcor = Índice de BAL corrigido; Lc = Comprimento da copa.

O modelo ajustado apresentou $R^2_{aj.}$ igual a 0,9979 e $S_{yx\%}$ de aproximadamente – 1,73%. Conforme pode ser observado na Tabela 13, o procedimento de modelagem foi realizado a partir do modelo com intercepto, já que este se mostrou mais eficiente em processamento preliminar de modelagem.

A análise do modelo selecionado permite observar que a estimativa do coeficiente b_1 é função de seis (6) variáveis independentes (Tabela 13). Esta relação, de certa forma complexa, representa a dinâmica de desenvolvimento das árvores-amostra frente às condições de crescimento a elas disponíveis.

De acordo com o modelo, as variáveis incremento em diâmetro nos últimos 5cm do DAP (i_{d5}), relação h/d (h/d) e exposição (EXPOS) são as que mais explicam essa relação, com valores de t calculado iguais a 54,376; 34,192 e 23,220, respectivamente.

A Figura 19 mostra a distribuição do erro de estimativa da função para os coeficientes angulares, por árvore-amostra. O erro em porcentagem variou de –0,04%, na árvore de número 5, até o máximo de 1,56%, para a árvore número 2.

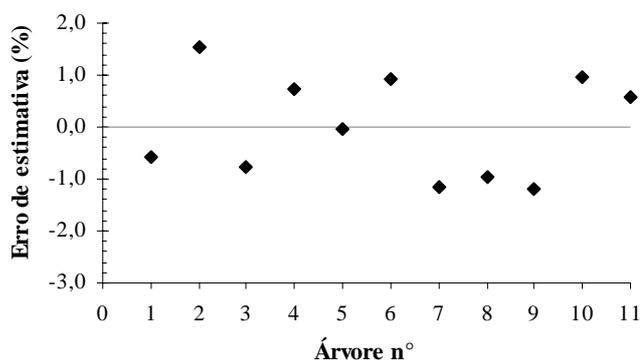


FIGURA 19 - Gráfico de distribuição de resíduos para modelagem do coeficiente b_1 .

Para a modelagem do coeficiente b_0 , foram utilizadas as mesmas variáveis selecionadas na modelagem do coeficiente b_1 .

Na Tabela 14, está o resultado obtido com o processamento estatístico *forward* para a modelagem do coeficiente b_0 .

TABELA 14 - Resumo do procedimento *forward* para a modelagem do coeficiente b_0 gerado pela função $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln(\text{dap}))^2$, por árvore-amostra.

Passo	Var. Indep.	Estatística dos parâmetros				Estatística do modelo	
		Valor a_j	$S_{yx} \cdot a_j$	t. a_j	Prob>t	R^2_{aj}	$S_{yx\%}$
1	Intercepto	11,446072	1,33257617	8,589	0,0001	0,4244	21,29567
	i_{D5}	-9,715925	3,35743397	-2,894	0,0178		
2	Intercepto	5,643178	2,04687083	2,757	0,0248	0,7150	14,98664
	i_{D5}	-11,970301	2,46622341	-4,854	0,0013		
	h/d	12,843732	4,02694636	3,189	0,0128		
3	Intercepto	7,788443	2,20596630	3,531	0,0096	0,7725	13,38895
	i_{D5}	-11,811049	2,20520834	-5,356	0,0011		
	h/d	11,821576	3,64535828	3,243	0,0142		
	EXPOS	-0,635741	0,36563563	-1,739	0,1256		
4	Intercepto	5,883667	1,59686869	3,685	0,0103	0,8983	8,95026
	i_{D5}	-11,393392	1,48024904	-7,697	0,0003		
	h/d	14,442799	2,57859932	5,601	0,0014		
	EXPOS	-0,901404	0,25892841	-3,481	0,0131		
	I_r	0,503585	0,16198712	3,109	0,0209		
5	Intercepto	5,059522	1,49270851	1,49270851	3,389	0,9211	0,9605
	i_{D5}	-11,859432	1,33430698	-8,888	0,0003		
	h/d	17,202354	2,81973884	6,101	0,0017		
	EXPOS	-0,853040	0,22999532	-3,709	0,0139		
	I_r	0,430613	0,14939419	2,882	0,0345		
	BALcor	-13,702017	8,29322542	-1,652	0,1594		
6	Intercepto	2,624659	0,64531811	4,067	0,0153	0,9907	2,70567
	i_{D5}	-13,370240	0,51859305	-25,782	0,0001		
	h/d	22,083294	1,24713756	17,707	0,0001		
	EXPOS	-1,331609	0,11036839	-12,065	0,0003		
	I_r	0,346885	0,05300778	6,544	0,0028		
	BALcor	-23,888992	3,28554670	-7,271	0,0019		
	LC	0,256923	0,04142318	6,202	0,0034		

Sendo: Var. Indep. = Variável independente; a_j = Coeficientes; $S_{yx} \cdot a_j$ = Erro padrão da estimativa do parâmetro a_j ; t. a_j = Valor de t de Student para os parâmetros ajustados; Prob>t = Nível de significância para o valor t; R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx\%}$ = Erro padrão da estimativa em porcentagem; I_{D5} = Incremento médio em diâmetro até 5cm; h/d = Relação altura diâmetro; EXPOS = Exposição do terreno; I_r = Índice da área potencial disponível; BALcor = Índice de BAL corrigido; Lc = Comprimento da copa.

O melhor modelo de regressão para descrever o coeficiente b_0 foi expresso por:

$$\hat{b}_0 = a_0 - a_1 \cdot i_{D5} + a_2 \cdot h/d - a_3 \cdot \text{EXPOS} + a_4 \cdot I_r - a_5 \cdot \text{BALcor} + a_6 \cdot \text{Lc}$$

Sendo: \hat{b}_0 = Coeficiente b_0 estimado; I_{D5} = Incremento médio em diâmetro até 5cm; h/d = relação altura-diâmetro; EXPOS = Exposição do terreno; I_r = Índice de área potencial disponível; BALcor = Índice de BAL corrigido; Lc = Comprimento de copa

Quando comparados os modelos b_1 e b_0 , percebe-se que não ocorreram alterações na disposição, nem no número de variáveis na equação de b_0 durante a segunda modelagem. Estas variáveis apenas diferiram quanto ao sinal dos coeficientes, demonstrando que a utilização das mesmas variáveis nos dois modelos foi positiva. Com isso, a correlação existente entre os coeficientes praticamente não foi alterada pelas estimativas, passando de $-0,99632$ (Tabela 12) para $-0,99793$.

A estatística de precisão do modelo b_0 também apresentou bom ajuste. Conforme a Tabela 14, o modelo selecionado mostrou-se altamente eficiente, com $R^2_{aj.} = 0,9907$ e $S_{yx\%} \cong 2,71$.

No modelo de b_0 , as variáveis incremento em diâmetro nos últimos 5cm do DAP (i_{d5}), relação h/d (h/d) e exposição (EXPOS) mantiveram sua importância na explicação da diferença de crescimento entre as árvores estudadas. Contudo, constata-se que estas variáveis foram mais associadas à variação de b_1 (relacionado à tendência de crescimento) do que propriamente à variação de b_0 (relacionado à diferença de nível entre as curvas). Isto pode ser verificado pela redução do valor de t calculado para tais variáveis entre os dois modelos.

Para melhor visualização do ajuste do modelo de b_0 , elaborou-se a Figura 20, relacionando os erros de estimativa do coeficiente b_0 , para cada árvore selecionada. Nessa figura, nota-se que o menor erro de estimativa verificado foi de $-0,3\%$ na árvore 8, enquanto o maior foi de $2,6\%$ para a árvore número 11.

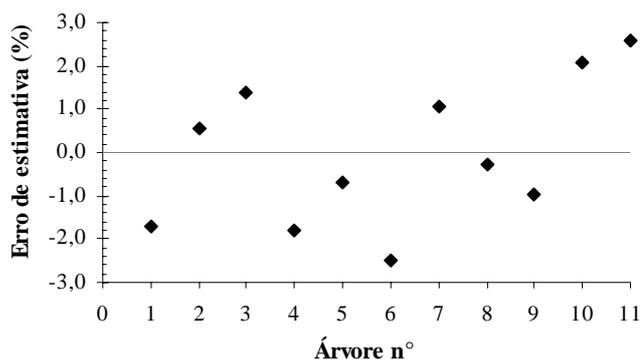


FIGURA 20 - Distribuição de resíduos para modelagem do coeficiente b_0 .

Não obstante, para avaliar a precisão dos modelos de b_0 e b_1 , foi realizada uma comparação entre as estimativas geradas pela função $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln(\text{dap}))^2$ com os coeficientes originais e as estimativas resultantes dos novos coeficientes.

Na árvore número 1, não foi verificada perda de precisão (Figura 21), mantendo-se constante a eficiência de 0,90, conforme a Tabela 8.

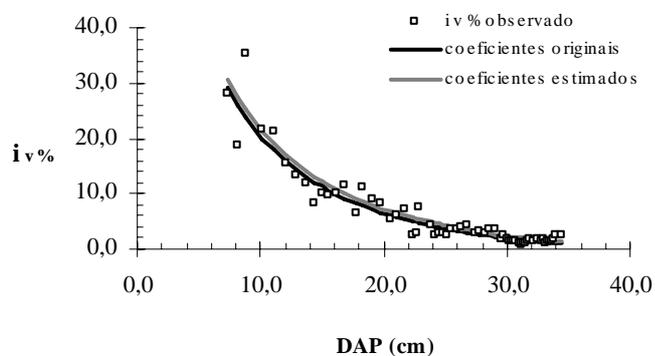


FIGURA 21 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 1.

Os coeficientes estimados para a árvore número 2 resultaram na manutenção da precisão do modelo, permanecendo a eficiência em 0,69 (Figura 22).

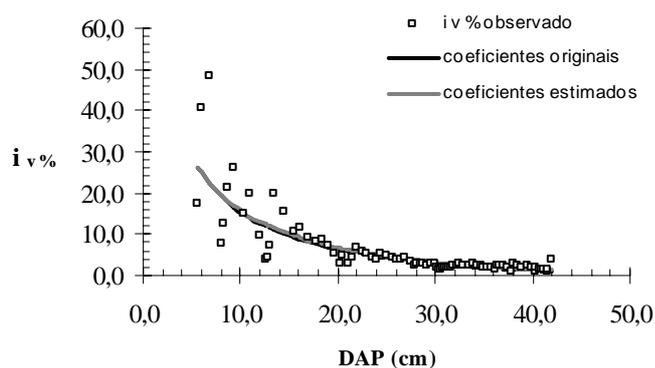


FIGURA 22 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 2.

Na árvore 3, constatou-se leve subestimativa dos incrementos volumétricos médios. Com isso, a eficiência reduziu de 0,55 para 0,47 (Figura 23).

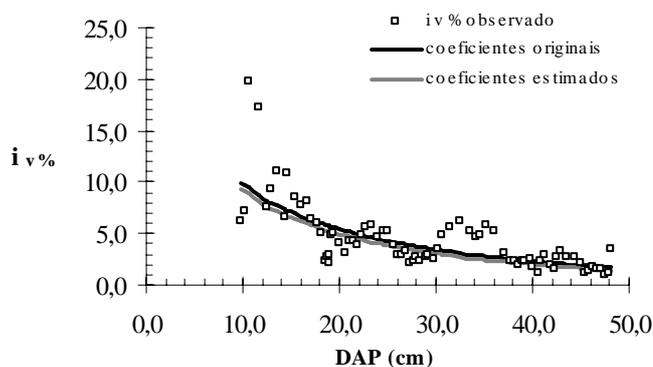


FIGURA 23 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 3.

Para a árvore número 4, o uso de coeficientes estimados praticamente não causou perda na precisão. A eficiência, que era de 0,95, passou a 0,93, não alterando significativamente a tendência da curva de incremento (Figura 24).

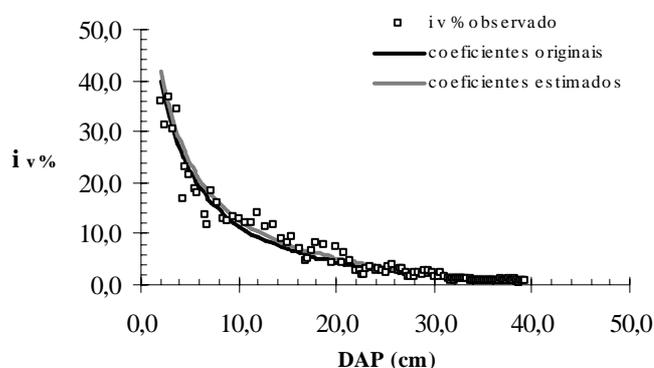


FIGURA 24 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 4.

Na árvore número 5, também foi verificado um bom ajuste da função com os novos coeficientes. Este novo ajuste foi inclusive melhor que o modelo com coeficientes originais, aumentando a eficiência de 0,76 para 0,77 (Figura 25).

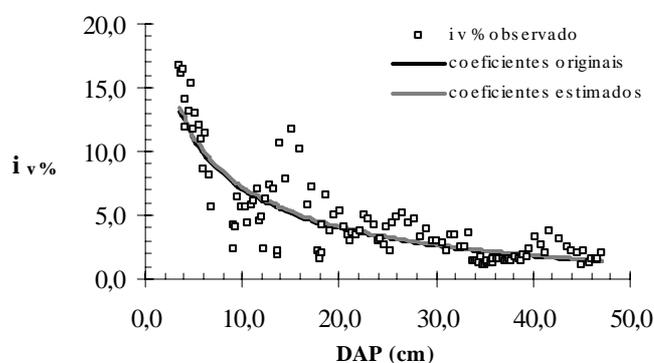


FIGURA 25 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 5.

Na árvore 6, os incrementos volumétricos estimados foram levemente superiores aos valores médios, conforme pode ser visualizado na Figura 26. Entretanto, a eficiência do modelo aumentou com o uso dos novos coeficientes, passando de 0,69 para 0,71.

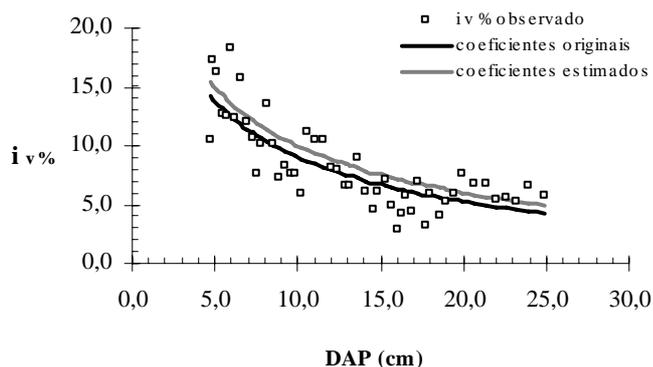


FIGURA 26 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 6.

A curva dos incrementos estimados para a árvore 7 mostrou-se ligeiramente inferior à curva dos incrementos médios. Essa diferença resultou numa perda de eficiência em, aproximadamente, 10% da precisão original.

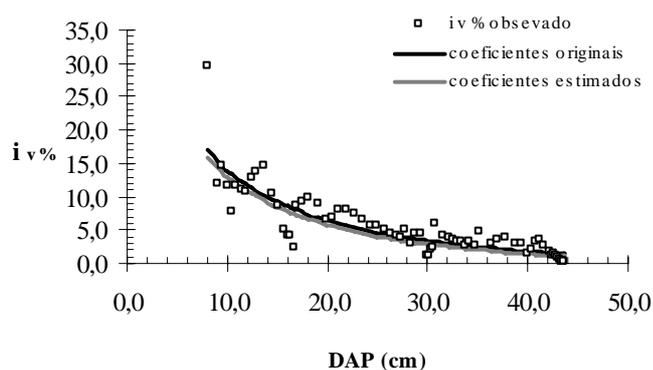


FIGURA 27 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 7.

Na Figura 27, pode-se observar o ajuste da curva para a árvore número 7, tendo-se verificado redução na eficiência de 0,75 para 0,67.

Para a árvore número 8, encontrou-se pequena variação nas estimativas dos incrementos, levando inclusive à sobreposição das curvas, conforme a Figura 28.

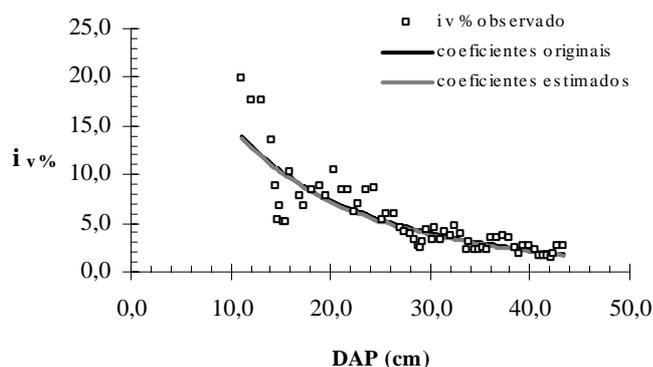


FIGURA 28 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 8.

Na árvore 9, verificou-se a manutenção da qualidade do ajuste. Conforme as Figuras 19 e 20, os erros de estimativas desses coeficientes foram de -1,0% e -1,17%, permitindo bom ajuste estatístico com 0,80 de eficiência.

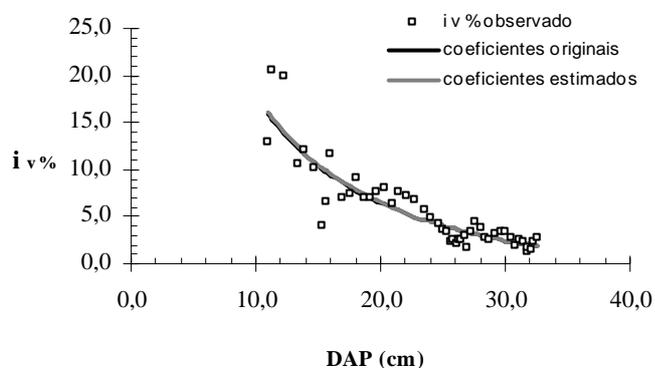


FIGURA 29 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 9.

Na árvore 10, o uso dos novos coeficientes estimados na função de $i_v\%$, determinou perda no ajuste de aproximadamente, 12%, quando a eficiência inicial, que era de 0,81, passou a 0,71.

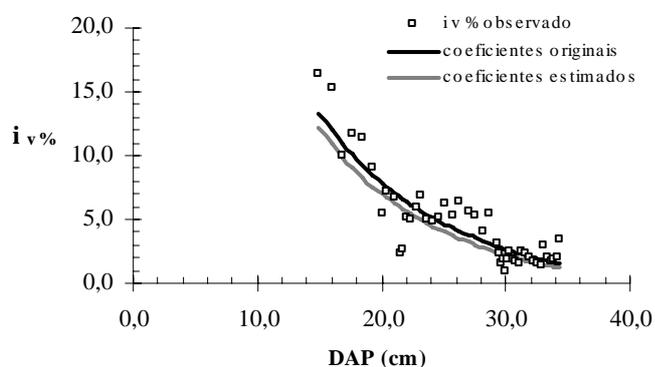


FIGURA 30 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 10.

Na determinação das estimativas para a árvore número 11, observa-se, na Figura 31, que a curva ajustada com novos coeficientes subestimou a curva média de incremento volumétrico percentual. Na árvore 11, a perda de ajuste foi de, aproximadamente, 27%, reduzindo a eficiência de 0,41 para 0,30.

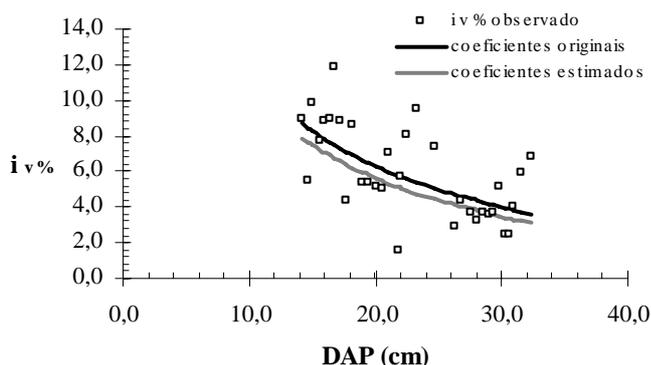


FIGURA 31 - Eficiência dos modelos b_0 e b_1 para a árvore 11.

De forma geral, os modelos ajustados para estimar os coeficientes b_0 e b_1 foram eficientes, principalmente naquelas árvores de pouca variação no incremento corrente em volume.

4.8.3 Estudo das variáveis dos modelos b_0 e b_1

O estudo das variáveis do modelo foi necessário para verificar a consistência das variáveis independentes incluídas nas equações de b_0 e b_1 . A análise consistiu em alterar a variável analisada, mantendo as demais variáveis constantes, e acompanhar modificações na tendência de crescimento da árvore. Para a realização deste procedimento, utilizaram-se os dados mensurados da árvore número 1, alterando-se o valor da variável analisada entre o valor mínimo, médio e máximo, observado nas 11 árvores amostradas conforme apresentado a seguir:

a) Variável i_{d5}

A variável i_{d5} (incremento médio em diâmetro medido nos últimos 5cm do DAP, no sentido casca-medula) apresenta alta correlação de Pearson (0,72926) com o incremento em volume percentual, contribuindo para o aumento do valor de R múltiplo da função apresentada na Figura 32. A relação indica que quanto maior o valor desta variável, maior é o coeficiente angular (b_1).

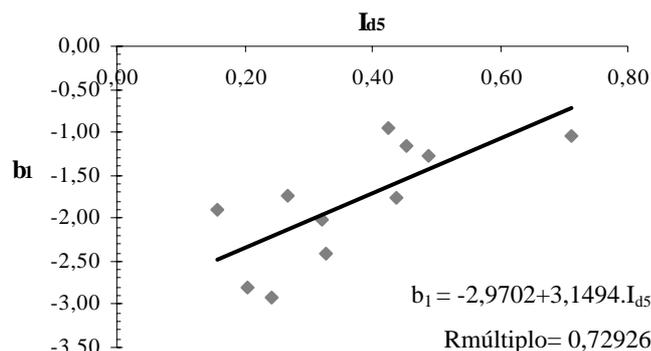


FIGURA 32 - Correlação entre as variáveis b_1 e i_{d5} para o conjunto das árvores amostradas.

Assim, o uso de coeficientes b_1 maiores, ou melhor, coeficientes menos negativos, resulta em diminuição da curva de incremento, conforme apresentado na Figura 33. Nesta, percebe-se que, à medida que o valor de I_{d5} se eleva, reduz-se o nível da curva de incremento em volume.

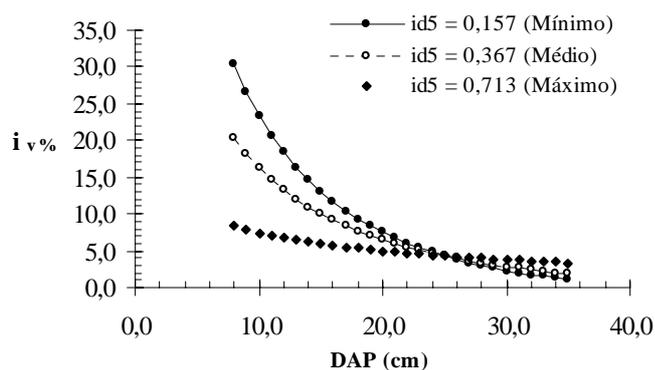


FIGURA 33 - Influência da variável i_{d5} na estimativa do incremento volumétrico percentual.

b) Variável h/d

A variável h/d expressa a relação da altura total com o diâmetro da árvore. Segundo Durlo & Denardi (1998), trata-se de uma relação importante e que caracteriza a estabilidade das árvores, podendo ser usada para indicar o grau de concorrência sofrido por um determinado indivíduo dentro da floresta.

Neste estudo, a relação h/d apresentou baixa correlação com a variação no crescimento das árvores amostradas, com valor de F igual a -0,293, conforme apresentado na Tabela 12. Mesmo assim, foi selecionado, no procedimento de modelagem, com alta significância no modelo (F igual a 54,376, conforme Tabela 13). A fraca correlação desta variável pode ser

verificada na Figura 34, a qual mostra baixa inclinação da linha de tendência que passa entre os valores da relação h/d e b_1 .

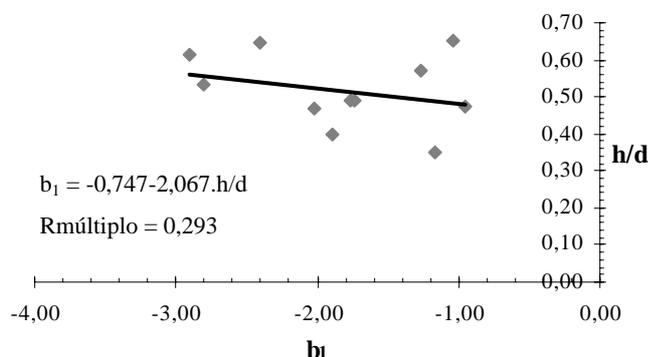


FIGURA 34 - Correlação entre as variáveis b_1 e h/d para o conjunto das árvores amostradas.

A respeito desta fraca correlação, Durlo e Denardi (1998), ao estudarem a morfometria de *Cabralea canjerana* em mata secundária nativa, também observaram ampla dispersão na relação h/d sobre as 160 árvores estudadas, com valores que, convertidos para a mesma unidade de medida deste estudo, variaram de 0,3 a 1,73 e levaram os autores a colocar em dúvida a relação desta variável com a dimensão das árvores.

Para as árvores estudadas de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, a relação h/d também apresentou ampla variação.

Nos modelos ajustados, conforme se aumenta o valor da relação h/d , eleva-se o nível das curvas de incremento, demonstrando que árvores mais instáveis tendem a apresentar maiores incrementos volumétricos (Figura 35).

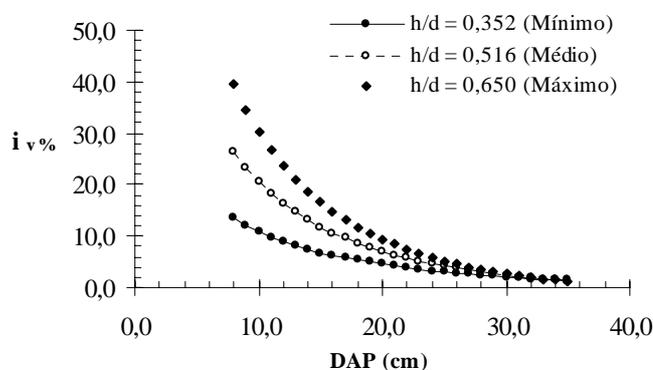


FIGURA 35 - Influência da variável h/d na estimativa do incremento volumétrico percentual.

A partir do estudo realizado nesta variável e, sobretudo, na sua influência sobre a estimativa do $i_v\%$, verifica-se que a utilização desta variável no modelo é consistente, pois, em árvores com maior crescimento em volume, é esperado menor relação h/d.

c) Variável EXPOS

A variável exposição do terreno apresentou correlação negativa em relação ao crescimento em volume percentual.

Conforme se pode observar na Tabela 3, no item 4.2, foram, selecionados nesta amostragem, indivíduos localizados em terrenos expostos a nordeste (EXPOS=2), leste (EXPOS=3) e sul (EXPOS=5), não tendo sido selecionadas árvores nas demais exposições. Com isso, analisando graficamente a correlação entre a exposição e b_1 (Figura 36), percebe-se que a correlação igual a 0,3182, apresentada na Tabela 12, decorre da árvore número 5. Esta, localizada na exposição sul, apresentou o menor coeficiente de inclinação. Caso não ocorresse essa observação, a correlação ficaria reduzida a 0,077.

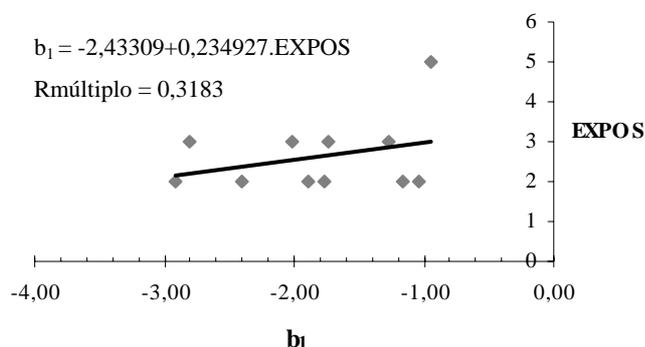


FIGURA 36 - Correlação entre as variáveis b_1 e EXPOS para o conjunto das árvores amostradas.

Della-Flora (2001), ao estudar o crescimento em área basal individual de 201 indivíduos da espécie *Ocotea puberula* (Ness.), no município de São João do Polêsine - RS, encontrou baixa correlação entre o crescimento e exposição do terreno, com coeficiente de correlação de Pearson igual a $-0,106$. Verificou também que a interação entre exposição do terreno multiplicada pela inclinação do terreno também não apresentou correlação significativa com o crescimento, com valor de F igual a $0,095$. No entanto, essa interação foi selecionada pelo autor quando da modelagem pelo procedimento *stepwise*, o que resultou no

modelo matemático para descrever o crescimento em área basal individual da espécie *Ocotea puberula* Ness.

Na Figura 37, pode-se acompanhar a influência da variável exposição do terreno nas estimativas do coeficiente b_1 , para *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.

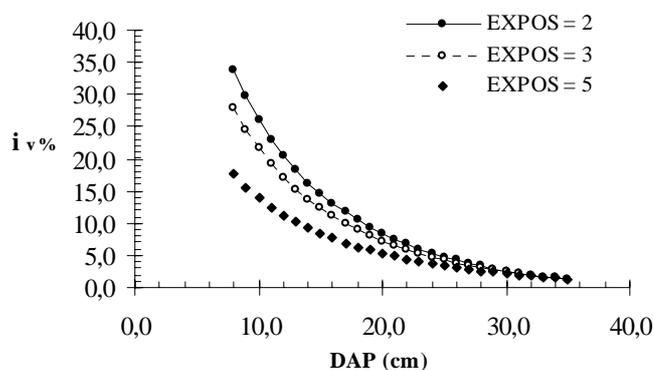


FIGURA 37 - Influência da variável EXPOS na estimativa do incremento volumétrico percentual.

d) Variável I_r

A variável I_r , ou área potencial disponível, quantifica a área disponível ao crescimento oferecido pelas árvores vizinhas à árvore considerada. Quanto maior o índice, tanto maior é a área potencial disponível ao crescimento do indivíduo considerado.

Neste estudo, a variável I_r apresentou correlação negativa com o coeficiente b_1 , com valor de F igual a $-0,139$, conforme a Tabela 12 e a Figura 38.

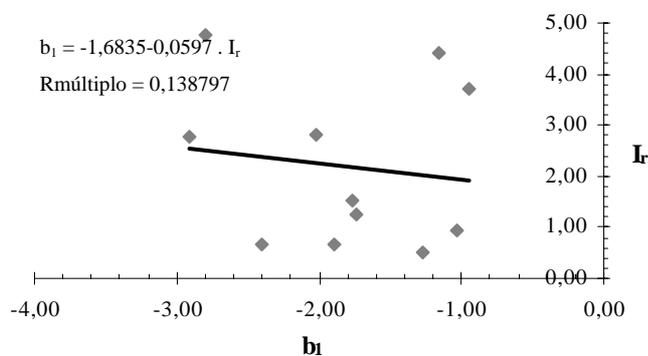


FIGURA 38 - Correlação entre as variáveis b_1 e I_r para o conjunto das árvores amostradas.

Verifica-se, portanto, que a variável I_r se comporta de forma lógica nos modelos de b_0 e b_1 , pois tem a função de reduzir as estimativas de incremento em volume percentual à medida que a área potencial disponível também é reduzida (Figura 39).

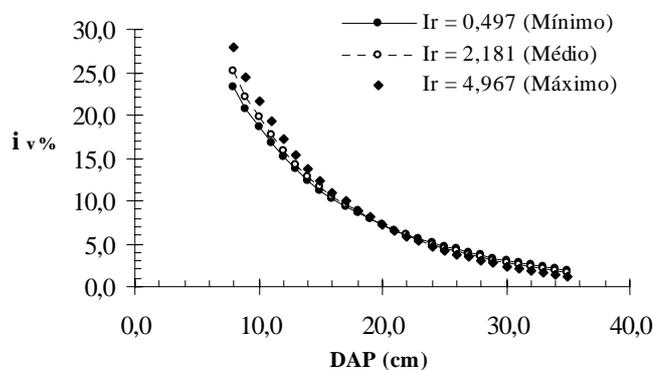


FIGURA 39 - Influência da variável I_r na estimativa do incremento volumétrico percentual.

e) Variável BALcor

A variável BALcor quantifica a concorrência entre árvores dentro de uma área pré-estabelecida. A quantificação da concorrência dá-se considerando somente os indivíduos com áreas basais maiores que a árvore considerada, fazendo ainda, uma correção em relação à distância dessas árvores. Por isso, quanto maiores forem os valores de BALcor, maior será a competição por espaço dentro da unidade amostral.

Neste estudo, a BALcor mostrou fraca correlação com o coeficiente b_1 com valor de t igual a $-0,14966$, conforme apresentado na Tabela 12 e na Figura 40.

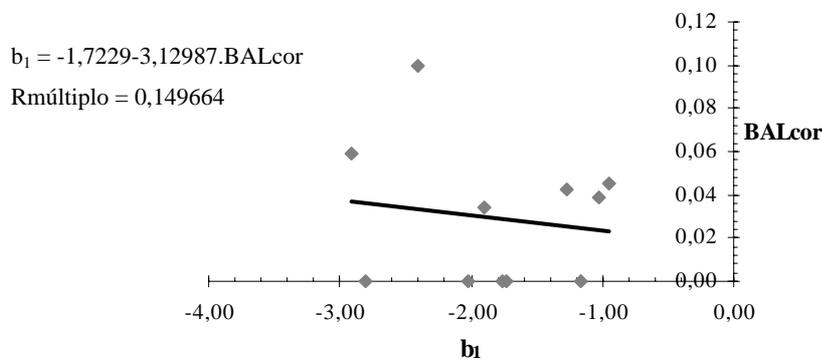


FIGURA 40 - Correlação entre as variáveis b_1 e BALcor para o conjunto das árvores amostradas.

Della-Flora (2001), ao analisar o crescimento de 383 exemplares de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez e 201 de *Ocotea puberula* Ness., no município de São João do Polêsine – RS, encontrou correlação entre a variável BAL e o crescimento em área basal de $-0,373$ para *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez e, $-0,5$ para *Ocotea puberula*.

Assim, como na citação anterior, também foi verificada correlação negativa entre a competição e o crescimento. Na Figura 41, por exemplo, observa-se que, quanto maiores as taxas de concorrência, menores são as estimativas de incremento em volume.

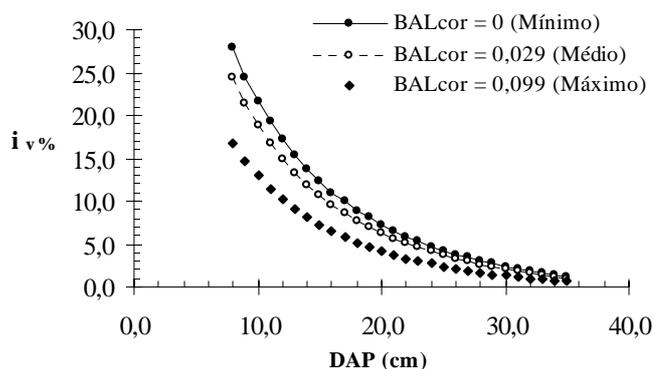


FIGURA 41 - Influência da variável BALcor na estimativa do incremento volumétrico percentual.

Della-Flora no estudo anteriormente citado modelou o crescimento em área basal de *Netandra megapotamica* (Spreng.) Mez e *Ocotea puberula* Ness., selecionando a variável BAL nas equações de crescimento em área basal. A variável BAL teve participação redutora no modelo, indicando que taxas maiores de competição estimam em contrapartida, menores incrementos em área basal.

f) Variável Lc

O Lc, ou comprimento da copa, exerce papel fundamental no crescimento das árvores. Árvores que apresentam copas reduzidas tendem a interceptar a luz em menor intensidade, reduzindo o poder fotossintético (British Columbia, 2003).

Segundo Schneider (1993), estudos já realizados destinados a avaliar a influência do comprimento da copa no crescimento das árvores apontam que reduções desta variável implicam em redução do crescimento em diâmetro, enquanto que o crescimento em altura das árvores é menos afetado.

Ao observar a tendência apresentada na Figura 42, percebe-se que, de acordo com os dados mensurados, altos valores de comprimentos de copa estão associados a valores menos negativos de coeficiente b_1 .

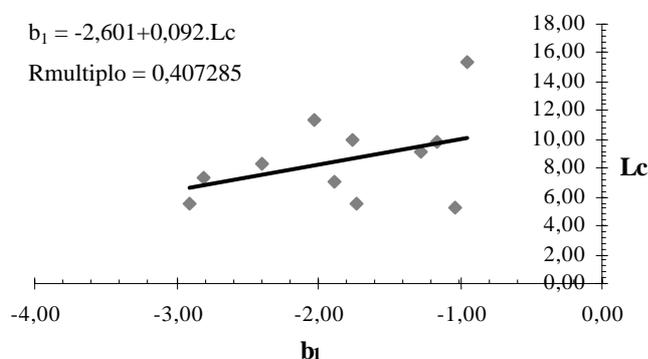


FIGURA 42 - Correlação entre as variáveis b_1 e L_c para o conjunto das árvores amostradas.

No entanto, ao se observar os modelos de b_0 e b_1 , percebe-se que a variável L_c foi selecionada com correlação invertida, em relação aos dados da amostragem. No procedimento de modelagem, o comprimento da copa exerceu função direta no crescimento em volume, nos quais maiores comprimentos de copa foram associados a maiores taxas de crescimento volumétrico, indicando a eficiência desta variável no modelo ajustado (Figura 43).

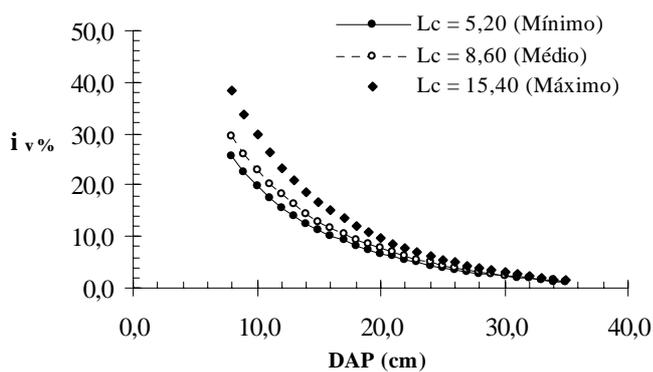


FIGURA 43 - Influência da variável L_c na estimativa do incremento volumétrico percentual.

A inversão da correlação da variável comprimento de copa, no procedimento *forward*, pode estar associada à baixa correlação dessa variável e, também, pelo fato de ter sido incluída no último passo da modelagem, conforme as Tabelas 13 e 14.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados deste estudo, conclui-se que:

A reconstituição do crescimento volumétrico percentual da espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez pode ser determinada de forma eficiente através do procedimento de análise de tronco;

A tendência em incremento percentual em volume pode ser representada de forma precisa por uma função de fácil utilização, descrita por: $i_{v\%} = (b_0 + b_1 \cdot \ln(dap))^2$.

A análise de covariância não se mostrou eficiente no teste de hipótese da diferença entre níveis, das curvas de incremento das árvores amostradas indicando níveis iguais para árvores com níveis distintos. No entanto, foi eficiente no teste de hipótese da diferença de inclinações entre as curvas de incremento volumétrico percentual;

A análise de covariância indicou ter havido diferença significativa, tanto no nível como na inclinação, na tendência de crescimento em volume das árvores estudadas, não sendo possível a utilização de uma função única para representação do incremento volumétrico percentual, permitindo, ainda, a formação de três grupos de árvores semelhantes entre si;

A variação de inclinação e nível das curvas de regressão que descrevem o incremento pode ser calculada pelas equações:

$$\hat{b}_1 = -0,41738583 + 4,16179208 \cdot i_{d5} - 6,29332107 \cdot h/d + 0,37822636 \cdot EXPOS - 0,11519372 \cdot I_T + 5,80418708 \cdot BALcor. - 0,06858050 \cdot Lc$$

$$\hat{b}_0 = 2,62465943 - 13,37023979 \cdot i_{d5} + 22,08329412 \cdot h/d - 1,33160878 \cdot EXPOS + 0,34688547 \cdot I_T - 23,88899208 \cdot BALcor. + 0,25692291 \cdot Lc$$

Recomenda-se a continuidade desses estudos na busca de uma melhor descrição sobre as relações do sítio e o crescimento das árvores. É necessário, também, que sejam selecionados indivíduos em condições de crescimento mais variados, o que requer o aumento da amostragem. Para isso, é necessário o aumento de recursos financeiros e a mudança de postura de órgãos de gestão ambiental, desmistificando a intocabilidade da floresta nativa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo aqui realizado demonstra a viabilidade da estimativa do incremento volumétrico de árvores de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez a partir de variáveis de fácil medição, contribuindo para o manejo da espécie. Permite ainda esclarecer a variação de inclinação e nível observada nas curvas de incremento, obtidas em trabalhos com outras espécies latifoliadas, aumentando a precisão da estimativa desses incrementos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLFE, E.L.; PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R.A.; BRENA, A.B. Aplicação de sistemas de informações geográficas no gerenciamento de unidades de produção florestal. In: 1º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1, 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2000. p. 439-452.

BRITISH COLUMBIA. Pruning. Using Growth and Yield Concepts to Build Effective Stand Tending Prescriptions and Programs – Two-day Course. Victoria: Province of British Columbia, Ministry of Forests, Forest Practices Branch, Stand Management, 2001. Module 7. Disponível em: <http://www.for.gov.bc.ca/hfp/forsite/traning/growth-and-yield/toc.htm>. Acesso em: 21/04/2003.

DAVIS, L.S. & JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3. ed. McGraw-Hill, 1986. 790p.

DELLA-FLORA, J.B. **Modelos de crescimento para árvores singulares – *Nectandra magapotamica* (Spreng) Mez. e *Ocotea puberula* Ness.** 2001. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DURLO, M.A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern Südbrasilien.** Wien 1996. Dissertation Doctor, Universität für Bodenkultur, 175 Seiten.

DURLO, M.A; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n.1, p. 55-67, 1998.

ESBER, L.M. **Crescimento de *Cedrela fissilis* (Vellozo) Mart. como subsídio para o manejo sustentado de florestas nativas no Estado do Rio Grande do Sul.** 2003. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

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

FINGER, C.A.G. O desafio da floresta. IN: BAPTISTA, L.M.R.;CAPARELLI, S.; FINGER, C.A.G.; LUTZENBERGER, J.; PIMENTEL, R. **Magia das árvores**. Porto Alegre: Riocell, 1995.CAO.2. p.22-49.

FINGER, C.A.G.; ELEOTÉRIO, J.R.; BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento diamétrico do Pau-Ferro (*Astronium balansae*) em reflorestamento no município de São Sepé, RS. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, p.101-108, 1996.

FRESSE, F. **Linear Regression Methods for Forest Research**. U.S.A.: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 1972, 132p.

HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Áustria. **Forest Ecology and Management**, v.96, p. 197-206, 1997.

HOSOKAWA, R.T.; MOURA, I.B.; CUNHA, U.S. da. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná-UFPR, 1998. 162p.

HERRMANN, M.L.P. & ROSA, O.R. **Geografia do Brasil**: Região Sual. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990, p.55-84. v. 2.

HILEY, W.E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London, Faber and Faber, 1959. 123p.

HUSCH, B.; MILLER, I.C.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York: J. Wiley, 1982. 402p.

KIUISTE, A.; GONZÁLEZ, J.G.A.; ALBORECA, A.R.; GONZALEZ, A.D.R. **Funciones de crecimiento de aplicación en el Ámbito Florestal**. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentar. 2002. 190p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2 ed. São Paulo: Ed. Plantarum, 1998. 368p.

MOORE, J.A.; BUDELSLEY, C.A.; SCHLESINGER, R. C. A. A New index representing individual tree competitive status. **Can. Jour. Fors. Res.** v.2, p.495-500, 1973.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

REITZ, R., KLEIN, R.M., REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CORAG, 1983. 525p.

SCHEEREN, L.W.; SCHNEIDER, P. S. P.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento do louro-pardo, *Cordia trichotoma* (Vell) Arrab. ex Steud, na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.12, n.2, p.169-176, 2002.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993. 348p.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998. 236p.

SCHNEIDER, P.R.; BRENA, D.A.; FINGER, C.A.G. **Manual para coleta de informações dendrométricas**. Santa Maria: UFSM, CCR, CEPEF, 1999. 33p.

SCHNEIDER, P.R. & FINGER, C.A.G. **Manejo sustentado de florestas inequiâneas heterogêneas**. Santa Maria: Imprensa Universitária-UFSM, 2000. 195p.

SCHNEIDER, P.S.P.; SCHEEREN, L.W.; FLEIG, F.D.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Crescimento da canela-de-veado, *Helieta apiculata* Benth., na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. In: 1º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1, 2000a, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2000a. p. 177-189.

SCHNEIDER, P.S.P.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Crescimento do ipê-roxo, *Tabebuia impetiginosa* ex A. P. de Candolle, na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 10, n.2, p.91-100, 2000b.

SCHNEIDER, P.S.P.; CANTO, J.L.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; SCHEREEN, L.W. Crescimento do açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) na Depressão Central do Rio Grande do Sul, Brasil. In: 2º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1, 2001c, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2001c. p. 487-507.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics with special reference to the biological science**. New York: McGraw-Hill, 1960, 481p.

STERBA, H. Using permanent sampling of individual trees as a source of information for forest management. In: 2º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1, 2001, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2001. p. 19-38.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. . **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:EMATER/RS;UFRGS, 2002. 126p.

TONINI, H.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R. O crescimento de *Nectandra megapotamica* Mez., em floresta nativa na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.85-90, 2003.

VANCLAY, K.J. **Modeling forest growth and yield applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.