



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

RAFAEL BRIDI CORTELETTI

**ANÁLISE DE TRONCO APLICADA À AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO DE
ÁRVORES DE PARICÁ**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
AGOSTO – 2013

RAFAEL BRIDI CORTELETTI

**ANÁLISE DE TRONCO APLICADA À AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO DE
ÁRVORES DE PARICÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

AGOSTO – 2013

Dissertação 0079

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Corteletti, Rafael Bridi, 1988-
C827a Análise de tronco aplicada à avaliação de crescimento de árvores de
paricá / Rafael Bridi Corteletti. – 2013.
82 f. : il.

Orientador: Gilson Fernandes da Silva.
Coorientadores: Adriano Ribeiro de Mendonça, Graziela Baptista Vidaurre.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Anéis de crescimento (Botânica). 2. Dendrocronologia. 3. Árvores –
Crescimento. 4. Árvores – Medição. 5. Levantamentos florestais. 6. Paricá. I.
Silva, Gilson Fernandes da. II. Mendonça, Adriano Ribeiro de. III. Vidaurre,
Graziela Baptista. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Agrárias. V. Título.

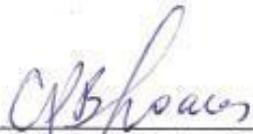
CDU: 630

**ANÁLISE DE TRONCO APLICADA À AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO DE
ÁRVORES DE PARICÁ**

Rafael Bridi Corteletti

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

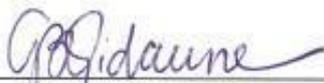
Aprovada em 02 de Agosto de 2013.



Prof. Dr. Carlos Pedro Boechat
Soares
UFV
Membro Externo



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
UFES
Membro Interno



Profª. Drª. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça
UFES
Coorientador



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
UFES
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida, saúde e sabedoria.

Aos meus pais e familiares, exemplos de força e dedicação.

Ao Centro de Pesquisa do Paricá (CPP) e aos Engenheiros Luciano Zanetti e Marcos Antônio Siviero, pelo auxílio e apoio na obtenção dos discos de madeira de paricá.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade de desenvolver este projeto de pesquisa e pela colaboração em todos os momentos em que precisei.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante o mestrado.

Ao meu orientador Gilson Fernandes da Silva, agradeço pela forma acolhedora que me recebeu, pela confiança, apoio, paciência e pelo constante incentivo.

Aos Professores, Adriano Ribeiro de Mendonça e Graziela Baptista Vidaurre, que com seus conhecimentos e sugestões participaram da coorientação desta pesquisa.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Ciências Florestais de da Madeira (DCFM) meus sinceros agradecimentos por todo o conhecimento e experiência transmitidos durante a minha formação acadêmica.

Aos colegas dos Laboratórios de Mensuração e Manejo Florestal, Ciência da Madeira, Usinagem e Beneficiamento da Madeira, pelo apoio, incentivo e troca de conhecimentos.

A família Dim Terim Bebim, pela parceira, convivência e amizade.

Por fim, agradeço ao apoio de todas as pessoas que me ajudaram na conclusão de mais uma etapa da minha vida.

*"Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente
você estará fazendo o impossível."*

São Francisco de Assis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Curva de produção e incremento.....	7
Figura 2.	Perfil longitudinal de uma árvore e possibilidade de contagem de anéis de crescimento.....	14
Figura 3.	Precipitação mensal referente ao período de 2005-2012.....	17
Figura 4.	Preparação dos discos para o lixamento. A: Polimento grosso (Lixadeira de cinta); B: Polimento fino (Lixadeira manual orbital) C: Disco sem polimento; D: Disco com a superfície polida.....	20
Figura 5.	Procedimentos de delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento. A: Marcação dos quatro raios; B: Delimitação dos anéis de crescimento com o uso do microscópico; C: Digitalização dos discos; D: Mensuração das larguras dos anéis com o programa Image-Pro Express 6.0.....	21
Figura 6.	Representação de uma seção de fuste, exibindo i e i+1 seção de corte, ilustrando a posição dos nós de crescimento anual e outras notações importantes para o cálculo da altura.....	22
Figura 7.	Camadas de crescimento demarcada por zona fibrosa.....	31
Figura 8.	Estrutura anatômica macroscópica do anel de crescimento de <i>Schizolobium amazonicum</i> : anel de crescimento verdadeiro (seta preta) e anel de crescimento falso (seta vermelha).....	32
Figura 9.	Fotomicrografia ilustrando o plano de observação transversal da estrutura anatômica do <i>Schizolobium amazonicum</i> . Seta preta indica o limite de anel de crescimento.....	33
Figura 10.	Série master da largura dos anéis de crescimento.....	34
Figura 11.	Curva acumulada da largura dos anéis de crescimento.....	35
Figura 12.	Perfis obtidos para duas árvores por meio da análise do tronco.....	37
Figura 13.	Resíduos percentuais em função do DAP para os modelos de volume avaliados, para todas as idades e agrupando todas as idades (modelo geral).....	44
Figura 14.	Distribuição dos resíduos dos modelos de afilamento avaliados para a expressão de diâmetro.....	48
Figura 15.	Distribuição dos resíduos dos modelos de afilamento avaliados para a expressão de altura.....	49

Figura 16.	Fator de forma comercial médio observado e estimado pelo método Logístico	51
Figura 17.	Distribuição dos resíduos para os modelos de crescimento em diâmetro em função da idade.....	54
Figura 18.	Distribuição dos resíduos percentuais das equações referentes aos modelos de crescimento em diâmetro na estrutura de projeção em função dos diâmetros estimados.....	55
Figura 19.	Curva de produção em diâmetro, curva de incremento corrente anual em diâmetro (ICA) e curva de incremento médio anual em diâmetro (IMA) por meio do modelo Linear.....	56
Figura 20.	Curva de produção em diâmetro, curva de incremento corrente anual em diâmetro (ICA) e curva de incremento médio anual em diâmetro (IMA) por meio do modelo Pienaar e Shiver.....	57
Figura 21.	Esquema da delimitação da largura dos anéis de quatro raios (<i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> e <i>d</i>). A: 0,1 m – 4 anos; B: 1,3 m – 3 anos; C: 3,3 m – 2 anos e D: 5,3 m – 1 ano.....	65
Figura 22.	Perfil da árvore.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Distribuição de frequência das árvores por classes de diâmetro e altura comercial.....	18
Tabela 2.	Modelos volumétricos avaliados para estimar o volume comercial de árvores de paricá.....	24
Tabela 3.	Modelos de afilamento avaliados para estimar o diâmetro e a altura ao longo do fuste.....	27
Tabela 4.	Modelos avaliados para estimar o crescimento em diâmetro e fator de forma comercial médio	27
Tabela 5.	Modelos avaliados para estimar o crescimento em diâmetro na estrutura de projeção.....	28
Tabela 6.	Testes estatísticos complementares viés (V), média das diferenças (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD).....	30
Tabela 7.	Alturas estimadas pelo método TARG para cada árvore em diferentes idades.....	36
Tabela 8.	Estimativas dos parâmetros das equações de volume comercial ajustadas para o paricá e suas respectivas medidas de precisão, em diferentes idades e agrupando todas as idades.....	38
Tabela 9.	Testes estatísticos complementares para a estimativa do volume do paricá, em diferentes idades e agrupando todas as idades.....	40
Tabela 10.	Soma de quadrados e grau de liberdade do resíduo da regressão do modelo reduzido e completo com os testes de hipótese pela estatística F.....	45
Tabela 11.	Parâmetros estimados e estatísticas de precisão para os modelos de afilamento avaliados.....	47
Tabela 12.	Testes estatísticos complementares para os modelos de afilamento avaliados.....	50
Tabela 13.	Parâmetros estatísticos das equações testadas para estimar o fator de forma comercial médio, em função da idade.....	50
Tabela 14.	Testes estatísticos complementares para o fator de forma comercial médio, em função da idade.....	51
Tabela 15.	Estimativas dos parâmetros e estatísticas de precisão dos modelos de crescimento em diâmetro em função da idade.....	52
Tabela 16.	Testes estatísticos complementares para os modelos de crescimento em diâmetro em função da idade.....	53

Tabela 17.	Estimativas dos parâmetros e estatísticas de precisão dos modelos de crescimento em diâmetro na estrutura de projeção.....	54
Tabela 18.	Testes estatísticos complementares para os modelos de crescimento em diâmetro na estrutura de projeção.....	55
Tabela 19.	Medidas dos quatros raios dos anéis e sua média (cm) nas diferentes seções (m).....	65
Tabela 20.	Diâmetro médio dos anéis nas diferentes alturas de seção...	66
Tabela 21.	Área Basal dos anéis nas diferentes alturas de seção.....	66
Tabela 22.	Números de anéis internos (k) , raios acumulados do anel interno (w_k), raio acumulado do anel interno mais um (w_{k+1}) e o raio do j-ésimo anel de crescimento (w_j), em cada seção.....	67
Tabela 23.	Altura nas diferentes idades pelo método TARG.....	67
Tabela 24.	Volume de cada seção por anel e o volume total por idade...	68

SUMÁRIO

RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO.....	2
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE <i>Schizolobium amazonicum</i>	4
2.2. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL.....	5
2.2.1. Fontes de dados para modelagem do crescimento e produção florestal.....	8
2.2.2. Tipos de modelos de crescimento e produção florestal..	8
2.3. ANÉIS DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	9
2.4. DENDROCRONOLOGIA.....	10
2.4.1. Potencialidade de espécies arbóreas tropicais para estudos dendrocronológicos.....	11
2.4.2. Potencialidade da aplicação da dendrocronologia no manejo florestal.....	12
2.5. ANÁLISE DE TRONCO.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA E AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES.....	16
3.2. COLETA DOS DISCOS PARA ANÁLISE DO TRONCO.....	18
3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO.....	19
3.4. PROCEDIMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO.....	19
3.5. ESTIMATIVA DAS ALTURAS POR MEIO DA ANÁLISE DO TRONCO.....	22
3.6. AJUSTE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS.....	24
3.6.1. Avaliação do efeito da idade nas relações volumétricas..	25
3.7. AJUSTE DE MODELOS DE AFILAMENTO.....	26
3.8. AJUSTE DE MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PREDIÇÃO E FATOR DE FORMA COMERCIAL.....	26
3.9. AJUSTE DE MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PROJEÇÃO.....	28
3.10. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS MODELOS.....	28
3.10.1. Erro padrão residual absoluto (S_{YX}).....	28
3.10.2. Erro padrão residual relativo ($S_{YX(\%)}$).....	29
3.10.3. Coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2).....	29

3.10.4. Análise gráfica dos resíduos	30
3.10.5. Testes complementares	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO.....	31
4.2. ELABORAÇÃO DA CRONOLOGIA MASTER.....	33
4.3. ANÁLISE DO TRONCO, ESTIMATIVAS DA ALTURA E RECONSTITUIÇÃO DO PERFIL EM VOLUME.....	35
4.4. ESTIMATIVAS DO VOLUME COMERCIAL PARA O PARICÁ.....	38
4.4.1. Avaliação do efeito da idade no volume comercial	45
4.5. AJUSTE DOS MODELOS DE AFILAMENTO.....	47
4.6. AJUSTES DE FATOR DE FORMA COMERCIAL MÉDIO.....	50
4.7. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PROJEÇÃO.....	52
4.8. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PROJEÇÃO.....	54
5. CONCLUSÕES	58
6. RECOMENDAÇÕES	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICE	65

RESUMO

CORTELETTI, Rafael Bridi. **Análise de tronco aplicada à avaliação de crescimento de árvores de paricá.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça e Prof. ^a Dr.^a Graziela Baptista Vidaurre.

Diante do gradativo aumento de áreas plantadas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) e o crescente interesse desta espécie para a indústria de compensados, informações biométricas a respeito dessa espécie ainda são escassas na literatura. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de fornecer informações dendrométrica e de crescimento para o paricá, na região de Paragominas, Pará, por meio de análise de tronco completa. Para atender ao objetivo, foram abatidas trintas árvores de sete anos de idade e delas foram retirados discos ao longo do tronco, nas posições de 0,1 m; 0,3 m; 0,7 m; 1,3 m e a partir deste ponto de metro em metro, até a primeira bifurcação. Após a coleta dos discos, estes foram secos ao ar livre e polidos com uma sequência de lixas para facilitar a visualização dos anéis de crescimento. Com a superfície polida dos discos foram traçados quatro raios perpendiculares por discos e com o auxílio de uma lupa foram demarcados os anéis de crescimento. Após a delimitação dos anéis, os discos foram escaneados e com o programa Image-Pro Express 6.0 foi realizada a medição da largura dos anéis no sentido medula-casca. Nos discos da altura de 1,3 m do solo, foi realizada a sincronização e a caracterização microscópica dos anéis de crescimento anuais. Foram ajustados modelos volumétricos, modelos de afilamentos, modelos de fator de forma comercial médio e modelos de crescimento em diâmetro na estrutura de predição e projeção. Os modelos foram avaliados por meio das medidas de precisão erro padrão residual absoluto e em porcentagem, coeficiente de determinação, análise gráfica de resíduos e pelas estatísticas bias, média das diferenças absolutas e desvio padrão das diferenças absolutas. Pela análise dos anéis de crescimento, pode-se observar que este é demarcado por zona fibrosa. Notou-se pela série *master* que o paricá possui largura dos anéis de crescimento favoráveis nos dois primeiros anos. Nos modelos volumétricos comerciais verificou-se que o modelo de Schumacher & Hall foi o mais acurado. Na avaliação das funções de afilamento em diâmetro o modelo de Demaerschalk foi o que indicou resultados mais preciso e para altura os modelos de Demaerschalk e Ormerod indicaram resultados semelhantes. O modelo Logístico destacou-se em termos de precisão para estimar o fator de forma comercial médio. Finalmente, o modelo para descrever o crescimento em diâmetro na estrutura de predição foi selecionado o modelo Exponencial e para estimar o diâmetro na forma de projeção o modelo Linear foi o mais acurado.

Palavras-chave: anel de crescimento, ajuste de modelos, *S. amazonicum*.

ABSTRACT

CORTELETTI, Rafael Bridi. **Stem analysis applied to the evaluation of tree growth paricá.** 2013. Dissertation (Masters in Forest Sciences) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Advisor: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co-Advisor: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça and Prof.^a Dr.^a Graziela Baptista Vidaurre.

Front of gradual increase in areas planted paricá (*Schizolobium amazonicum*) and the growing interest of this species for plywood industry, biometric information about this species are scarce in the literature. This study was conducted with the objective of provide information dendrometric and growth for paricá in Paragominas region, Pará, through stem analysis complete. To attain the purpose, trees have been cut down thirties seven years old and these discs were obtained along the trunk, the positions of 0.1 m, 0.3 m, 0.7 m, 1.3 m and from this point of meter in meter, untill the first bifurcation. After collecting the discs, these were air dried and polished with a sequence of sandpaper for easy viewing of growth rings. With the polished surface of the discs were traced four rays perpendicular discs and with the assist of a magnifier rings were marked growth. After the delimitation of the rings, discs were scanned and the Image-Pro Express 6.0 was performed to measure the width of the rings from pith to bark. Discs in the height of 1.3 m above the ground, was made synchronization and microscopic characterization of annual growth rings. Logistic models were fitted volumetric, models taper, models form factor models average and diameter growth in structure prediction and projection. The models has been evaluated using measures the residual standard error precision absolute and percentage coefficient of determination, graphic residue analysis and statistics bias, mean absolute differences and standard deviation of the absolute differences. For the analysis of growth rings, can observe that this zone is demarcated fibrous. It was noted for the master series own paricá ring width favorable growth in the first two years. In commercial volumetric models showed that the model is Schumacher & Hall more accurate. In evaluating the taper functions in diameter model Demaerschalk was indicated that more precise results and height models Demaerschalk Ormerod showed similar results. The Logistic model stood out in terms of accuracy to estimate the average form factor. Finally, the model to describe the growth in diameter structure prediction was selected Exponential model to estimate the diameter in the form of Linear projection model was the most accurate.

Keywords: growth rings, adjustment model, *S. amazonicum*.

1. INTRODUÇÃO

As florestas plantadas são responsáveis pelo alívio sobre as florestas nativas, fornecendo matéria prima para os diversos elementos da cadeia produtiva da madeira em um espaço de tempo curto. Desta forma, as empresas vêm investindo em políticas com o objetivo de implementar florestas homogêneas de rápido crescimento para a produção de árvores de maiores porte.

Uma espécie nativa plantada para a produção de madeira em escala comercial, que vem se destacando nos últimos anos devido a suas características como rápido crescimento, fuste retilíneo e desrama natural é o paricá (*Schizolobium amazonicum*). Com isso, essa espécie tem se tornado nos últimos anos favorita para o reflorestamento na Região Norte e parte da Região Nordeste do país. De acordo com a ABRAF (2012), existem em torno de 85.473 hectares de paricá plantados no país.

O conhecimento das relações biométricas comumente inicia-se pelo emprego de modelos hipsométricos, volumétricos ou de afilamento, em seguida, procura-se conhecer o potencial produtivo do local, por meio da classificação de sítio e, por fim, utilizam-se estas informações para o ajuste de modelos de crescimento e produção florestal. Com estes modelos é possível planejar o tempo necessário para que as árvores alcancem uma determinada dimensão, auxiliando nas estratégias da condução das florestas.

Para se compreender e prognosticar o crescimento e a produção de florestas em termos de diâmetro e outras variáveis utilizam-se como fonte de dados os inventários florestais contínuos. Porém, o grande período de observação para coleta de dados e a instalação de parcelas permanentes podem ser inconveniente e trabalhoso. Mediante a dificuldade dessas longas observações, em plantios florestais que não possuem todo esse acompanhamento, a análise do tronco é uma alternativa rápida, eficaz e precisa, que permite conhecer, pelo exame dos anéis anuais de crescimento tomados em diversas posições ao longo do tronco da árvore, as dimensões alcançadas pelas árvores em épocas passadas. Por meio da contagem e medição de anéis de crescimento podem-se obter informações sobre parâmetros dendrométricos importante para descrever o desenvolvimento da

árvore como o diâmetro, altura e volume (FINGER et al., 1996; SCOLFORO, 2006; CAMPOS; LEITE, 2009).

A análise dos anéis de crescimento fornece informações importantes sobre a planta: se possui crescimento rápido (anéis bem espaçados) ou crescimento lento (pequeno espaços entre os anéis), anos que foram desfavoráveis (espaços menores) e favoráveis (espaços maiores) ao crescimento. Além de trazer referências sobre a vida da árvore, é de grande interesse para a silvicultura e, especialmente, para a dendrometria e ordenamento florestal, por permitir por meio de análise de troncos a elaboração de tabelas de volume e fornecer base para a prognose do crescimento florestal.

Inúmeras pesquisas já foram desenvolvidas para as espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* com o intuito de modelagem de crescimento e produção florestal, mas para o paricá são poucos os trabalhos relacionados sobre a modelagem do crescimento (SILVA JUNIOR, 2009; RODRIGUES et al., 2010; HOFFMANN et al., 2011; SANTOS, 2012). Neste mesmo âmbito são escassos as pesquisas que tratam da sazonalidade da formação dos anéis anuais de crescimento de paricá (LOBÃO, 2011). Este autor afirmou que em florestas tropicais pluviais, o regime estacional de precipitação é apontado como o principal método determinante da sazonalidade de crescimento do anel anual. Com isso, é justificada qualquer investigação científica envolvendo o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção a partir de dados provenientes de análise de tronco completa para esta espécie.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento de um povoamento de paricá (*Schizolobium amazonicum*) a partir de dados proveniente de análise de tronco completa.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a estrutura macroscópica e microscópica dos anéis de crescimento das árvores de paricá.
- Elaborar a série *master* da largura dos anéis de crescimento de paricá para as árvores amostradas.
- Demonstrar a viabilidade de realização da análise de tronco para o paricá, reconstituindo o perfil de algumas árvores.
- Analisar a precisão de modelos de volume, afilamento, fator de forma comercial médio e crescimento em diâmetro na estrutura de predição e projeção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE *Schizolobium amazonicum*

A espécie *Schizolobium amazonicum*, conhecida por paricá ou pinho cuiabano pertence à família Fabaceae, possui ocorrência natural em toda região amazônica, envolvendo as partes brasileiras, venezuelana, colombiana, peruana e boliviana. No Brasil, ocorre principalmente nos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre, podendo ser encontrada também na Mata Atlântica entre Santa Catarina e Bahia (CORDEIRO, 2007).

Segundo Ribeiro (2006), esta espécie possui tronco cilíndrico e retilíneo podendo possuir sapopemas. É uma árvore de médio a grande porte, que chega a alcançar entre 15 a 40 m de altura e 50 a 100 cm de diâmetro na altura do peito (*DAP*).

Conforme Vidaurre (2010), a madeira de paricá possui coloração branco-amarelo-clara, possui anéis de crescimento distintos e diferença entre cerne e alburno visível. A madeira é de fácil trabalhabilidade, textura média, grã cruzada ondulada e é facilmente atacada por fungos xilófagos.

De acordo com Costa et al. (1998), sua madeira vem atraindo a atenção de empresas e produtores, pois, sendo uma madeira com baixa densidade ($0,30 \text{ g.cm}^{-3}$) ela é utilizada para a produção de forros, palitos, maquetes, embalagens, canoas, miolo de painéis de portas, brinquedos, caixotarias, laminados e compensados.

A espécie se adapta bem ao clima equatorial semi-úmido, caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa bem definida. O desenvolvimento das plantas é fortemente influenciado pela estação do ano, onde a ocorrência de chuvas acarreta em crescimento acentuado, porém, a espécie não tolera solos alagados (VIDAURRE et al., 2006).

O paricá se destaca pelo seu rápido crescimento com ciclo de corte em torno dos 6-7 anos de idade, além de possuir grande importância econômica para o mercado interno e externo para a produção de lâminas para as indústrias de compensados. Por possuir fustes cilíndricos e desprovidos de ramificações persistentes (nós), esta espécie possui excelente rendimento tanto para laminação quanto para a serraria (VIDAURRE, 2010).

Vidaurre et al. (2012) citou que os resíduos decorrentes desta espécie também podem ser utilizados na geração de energia, uma vez que seu poder calorífico e as características do carvão vegetal são similares aos encontrados em madeiras usadas comumente como combustível. No Brasil, porém, a utilização da madeira de paricá para a produção de carvão não seria interessante em função de sua baixa densidade.

A madeira de paricá possui grande potencial para o processamento de sua madeira, pois, segundo Siviero (2006), possui facilidades quanto à retirada da casca, laminação, secagem e prensagem. Além disso, o aproveitamento da tora de madeira no processo de laminação é de 80% contra 55% em média, para diversas outras espécies de floresta nativa. Este alto rendimento da espécie é devido principalmente pela forma do fuste, ausência de tensões de crescimento e o tipo de torno utilizado que produz rolo resto de pequeno diâmetro.

De acordo com Marques, Yared e Siviero (2006), o potencial silvicultural e tecnológico desta espécie demonstram a sua viabilidade para o reflorestamento comercial na Região Norte do país. As características da madeira, adequadas para a produção de lâminas e o seu rápido crescimento comparado com outras espécies, tornaram a espécie nativa mais plantada no estado do Pará. De modo geral, a taxa de crescimento do paricá é de 30 a 35 $m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$, podendo aumentar com a adoção de programas de melhoramento comumente empregados em espécies do gênero *Eucalyptus*.

Alguns estudos (TOMAZELLO FILHO et al., 2004; CALLADO; GUIMARAES, 2010; LOBÃO, 2011) comprovaram que o gênero *Schizolobium* sp. possui potencial para a realização de estudos dendrocronológicos, sendo seus anéis de crescimentos bem delimitados e visíveis, possibilitando a análise da largura destes, obtendo assim incrementos radiais e a sua relação com eventos climáticos.

2.2. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL

Segundo Scolforo (2006), o crescimento de uma árvore é o mais importante fenômeno na floresta e é o ponto central para o manejo de povoamentos florestais. O estudo do crescimento e da produção e o

entendimento deste processo na floresta são ferramentas básicas para um posterior planejamento do manejo florestal, devido à necessidade de se obter prognósticos da produção futura com base em poucas medições.

O crescimento de uma árvore consiste no aumento gradual do valor das variáveis mensuráveis. Por outro lado, crescimento é o somatório da divisão, alongamento e espessamento de suas células (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005). O crescimento causa mudanças na árvore, influenciando o seu peso, volume e forma (SCOLFORO, 2006).

Os modelos de crescimento e produção florestal são essenciais para o planejamento de um empreendimento florestal, pois diversas decisões dependem dessas estimativas, como por exemplo, a quantidade de madeira que pode ser cortada anualmente, as espécies e tipos de produtos que estão ou se tornarão disponíveis no futuro (CAMPOS; LEITE, 2009).

O ritmo de crescimento é influenciado por fatores fisiológicos, externos e pelo tempo. A respeito do tempo, este sempre vai estar ligado ao crescimento, e é por este motivo que se procura conhecer a idade de uma árvore. O que cresce em uma árvore em períodos sucessivos de tempo é denominado incremento (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Conforme Scolforo (2006) existem diversas maneiras de expressar o crescimento. Destas, se destacam o incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA). O ICA é a diferença entre as dimensões de uma árvore, ou a produção por unidade de área, medidas no fim e no início de um ano de crescimento, ou seja, é a expressão do crescimento de uma árvore, ou de um povoamento, de um ano para outro. Por outro lado, o IMA é o acréscimo médio anual em qualquer idade, sendo obtido pela razão entre a variável mensurada e a idade da árvore. Por este motivo, ao ser utilizado, deve-se sempre mencionar a idade e o sítio em que este foi quantificado.

A determinação do crescimento implica conhecer o estado inicial, o estado final e o correspondente tempo transcorrido de um estado a outro. Esse crescimento acumulado ao longo do tempo é denominado de produção florestal, ou seja, é o crescimento acumulado em uma determinada idade (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Conforme Encinas, Silva e Pinto (2005), o crescimento das florestas está intimamente associado ao fator tempo e às condições ambientais do local.

Quando as dimensões de uma população são plotadas sobre suas respectivas idades, a curva possui uma forma sigmoidal ou “S” e demonstra o crescimento acumulado em um determinado período, denominado de curva de produção. Esta curva demonstra o tamanho alcançado em cada idade começando do ponto zero e subindo primeiramente de forma lenta até um ponto de inflexão, após este ponto, a curva muda de concavidade, a inclinação diminui e aproxima-se assintoticamente do valor final.

Segundo Husch, Beers e Kershaw (2003), a curva de produção é dividida basicamente em três períodos. O primeiro período é definido como fase juvenil e possui alta correlação com o crescimento. Neste período a taxa de crescimento atinge o valor máximo fazendo coincidir o ponto de inflexão da curva de produção com o valor máximo da curva de ICA. A segunda fase é denominada período de maturação e possui baixo nível de crescimento. É caracterizado pelo valor máximo do IMA coincidindo com o ponto de tangência máxima na curva de produção. Este ponto também coincide com o cruzamento das curvas de IMA e ICA. No terceiro período o crescimento é interrompido e a árvore atinge a dimensão máxima, denominada fase de senescência (Figura 1).

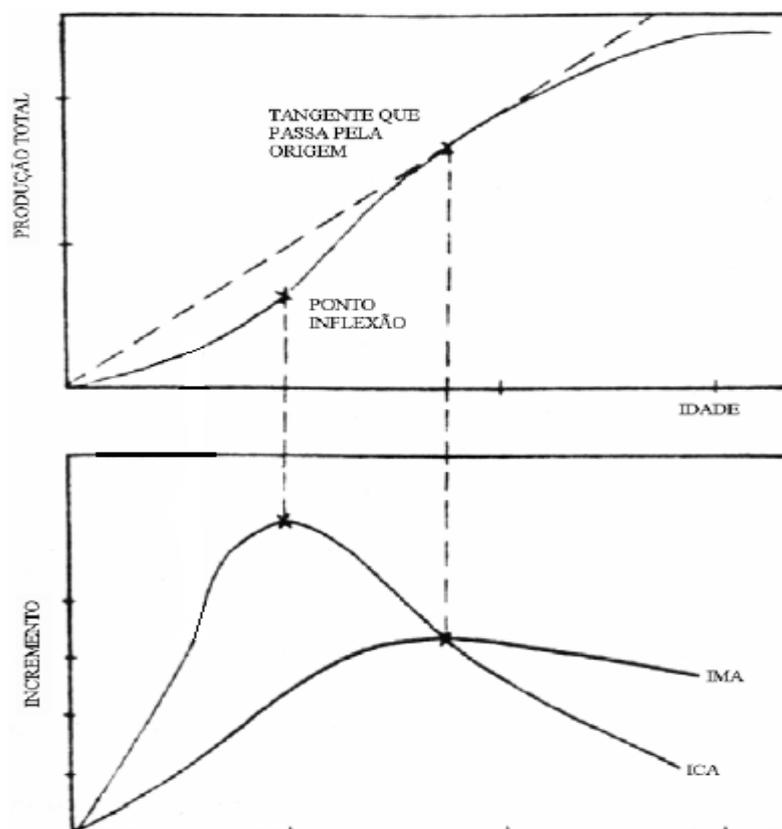


Figura 1. Curva de produção e incremento. FONTE: ASSMANN (1970)

2.2.1. Fontes de dados para modelagem do crescimento e produção florestal

Conforme Campos e Leite (2009) existem três fontes principais de dados para estudos de crescimento e produção: parcelas permanentes, parcelas temporárias e análise de tronco.

Segundo Finger (1992 citado por SANTOS, 2006) avaliar a produção por meio de unidades amostrais permanentes implica na tomada de dados de longos períodos de tempo, acarretando em altos custos e demora em obtenção de dados confiáveis, porém não necessita de uma amostragem muito ampla. Esta fonte de dados deverá ser sempre utilizada, pois permite a validação de modelos por meio da comparação da produção entre e dentro das parcelas.

Para estudos de crescimento e produção, as parcelas temporárias são poucos eficientes do ponto de vista estatístico, devendo ser evitada em modelagem dependente do tempo. Desta forma, ao se avaliarem tratamentos específicos como efeito de desramas ou desbastes, o seu uso não é indicado (CAMPOS; LEITE, 2009).

A análise de tronco adquire uma importância singular, pois em qualquer época pode-se reconstruir o crescimento passado de uma árvore, desde que a espécie em questão possua anéis de crescimento anuais delimitados. São muito úteis, pois fornecem informações precisas em pequenos intervalos de tempo (SCOLFORO, 2006).

2.2.2. Tipos de modelos de crescimento e produção florestal

Os modelos de crescimento e produção florestal podem ser classificados em dois grandes grupos: os modelos descritivos ou empíricos e os modelos de processos ou biológicos. Os modelos empíricos são os amplamente empregados, utilizando-se de modelos de regressão que propiciam estimativas confiáveis do crescimento e da produção. Já os biológicos são mais complexos tornando difícil seu ajuste e manuseio, porém propiciam uma boa análise do crescimento e da produção (ABREU et al., 2002).

Os modelos empíricos de crescimento e produção podem ser subdivididos em: modelos de povoamento total, modelo de distribuição diamétrica e modelos de árvores individuais. Os modelos de povoamento total estimam o crescimento e a produção em termos de unidade de área independentemente da classe de tamanho da árvore. Por sua vez, os modelos de distribuição diamétrica são estimados por classe de diâmetro, fornecendo assim informações sobre a estrutura do povoamento, utilizam para isto funções de densidade de probabilidade. Por fim, os modelos de árvores individuais utilizam dados provenientes de cada árvore e fornecem afirmações mais detalhadas e a produção é obtida somando-se as produções individuais. Nesses modelos as informações por árvores são atualizadas para uma idade definida, são modelos de ajustamento mais difícil, uma vez que estabelecem dados específicos sobre cada árvore. A escolha e aplicação desses modelos irão depender da base de dados, do objetivo do manejo e dos recursos disponíveis (CAMPOS; LEITE, 2009).

2.3. ANÉIS DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

Os anéis de crescimento são estruturas anatômicas do xilema secundário que formam círculos concêntricos e contínuos ao redor da medula, resultante da deposição contínua da atividade do câmbio, acrescentando a cada ano camadas consecutivas que irão estruturar a madeira (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Segundo o *United State Department of Agriculture – USDA* (1999), a diferença entre a madeira que é formada inicialmente no crescimento e àquela formada tardiamente é suficiente para produzir anéis de crescimento nitidamente demarcados. A parte interna do anel de crescimento, formada primeiramente na estação de crescimento, é conhecida como lenho inicial e a parte externa, formada tardiamente na estação de crescimento, é conhecida como lenho tardio.

O lenho inicial é caracterizado por células de parede fina e grande diâmetro dos vasos, além de ser fisicamente mais claro, macio e mais frágil que o lenho tardio. Já o lenho tardio possui comportamento oposto, com células de parede espessa e pequeno diâmetro de vasos, cor escura, rígido e

mais resistente. Em locais onde existem claramente períodos específicos de verão e inverno, o crescimento das árvores permite saber se elas possuem incremento rápido, anéis bem espaçados; ou lento, pequeno espaço entre anéis (USDA, 1999; ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Segundo Brown (1974 citado por MATTOS, 1999), a periodicidade de formação de anéis de crescimento varia com a espécie, idade e condições de ambiente, podendo ocorrer anéis múltiplos formados em uma única estação de crescimento ou mesmo anéis ausentes. Com isso, esse autor afirmou que não se deve usar o termo anel de crescimento como sinônimo de anel de crescimento anual e que os anéis de crescimento são visíveis a olho nu ou por meio de microscópio devido às diferenças nas propriedades físicas dos elementos do xilema, produzidas durante o crescimento cíclico.

Os anéis de crescimento são de grande importância para determinar a idade da madeira, sendo esta uma variável muito importante na estimativa da produção florestal. De acordo com Encinas, Silva e Pinto (2005), a idade da madeira permite: i) analisar o incremento das árvores em diâmetro, área basal, volume e altura de um determinado local; ii) prever o crescimento em altura das árvores dominantes, permitindo determinar a capacidade produtiva do povoamento e; iii) definir padrões a ser utilizados nas práticas de manejo, servindo como dados comparativos entre povoamentos.

2.4. DENDROCRONOLOGIA

A dendrocronologia (*dendron*, árvore; *kronos*, tempo; e *logos*, conhecimento) é a ciência que analisa e interpreta os anéis ou camadas de crescimento da árvore. Representa um dos métodos científicos mais utilizados no que se refere a datações aplicadas a madeira, além da reconstrução de eventos climáticos, incêndios florestais, crescimento em diâmetro e em altura, e a influência dos tratamentos silviculturais, a partir do registro destes acontecimentos nos anéis de crescimento (GONÇALVES, 2007).

Para a tomada de decisões no manejo florestal, a dendrocronologia agrupa uma grande quantidade de dados de alto valor, como registros de crescimento, qualificação e acompanhamentos dos volumes de madeira

produzidos, sendo uma fonte importante de informação a respeito do inventário e planejamento florestal (ALVARADO, 2009).

2.4.1. Potencialidade de espécies arbóreas tropicais para estudos dendrocronológicos

Segundo Jacoby (1989, citado por LOBÃO, 2011), a presença de anéis de crescimento anuais, em espécies de clima temperado, é conhecida e estudada há muito tempo, porém a dendrocronologia em espécies tropicais não teve o mesmo desenvolvimento ocorrido em regiões temperadas. Durante muito tempo acreditava-se que espécies de clima tropical não possuíam sazonalidade anual e, conseqüentemente, não haveria formação de anéis de crescimento anual bem delimitados. Esta idéia prevaleceu até o início do século XX quando, então, foram publicados os primeiros trabalhos a descreverem anéis de crescimento anuais em árvores tropicais.

De acordo com Cunha (2009), as incertezas quanto à presença de anéis de crescimento em árvores tropicais foi devido à falta de sazonalidade do clima tropical, pois teoricamente, nessas árvores não formariam os anéis de crescimento anual. Segundo Botosso e Mattos (2002), nas zonas tropicais, os anéis de crescimento das árvores podem não corresponder sistematicamente ano a ano, isto ocorre porque a formação dos anéis de crescimento não se dá apenas em função da quantidade de precipitação, mas, também, dos períodos de seca e inundações, podendo ocorrer dois ou mais ciclos em um ano, além de encontrar anéis descontínuos (aquele que não formam um círculo completo em torno da medula) e anéis falsos (quando se forma mais de um anel por período vegetativo).

Conforme Lobão (2011), um pressuposto importante para a ocorrência de anéis anuais nas zonas tropicais e subtropicais é a reação da madeira às variadas condições climáticas durante o ano, provocando a dormência cambial de algumas espécies arbóreas, o que as leva a formação de anéis de crescimento anuais. Os estudos de fenologia e de anatomia do lenho de árvores de ecossistemas florestais tropicais indicam, para um significativo número de espécies, haver uma direta relação da influência ambiental na formação dos anéis de crescimento diferenciados em seus lenhos. Nesta

complexa interação, a sazonalidade da ocorrência das variáveis climáticas, como a precipitação e a temperatura, desempenha importante efeito indutor da dormência e da ativação das células da camada cambial do tronco das árvores tropicais.

Roig (2000) afirmou que o menor desenvolvimento dos estudos de anéis de crescimento nos trópicos em relação à zona temperada é devido ao menor número de espécies com anéis de crescimento distintos, árvores de menor longevidade e alta taxa de decomposição do lenho. Por isso, para realizar estudos dendrocronológicos de espécies tropicais é necessário maior esforço para reconhecer a organização anatômica anual do tecido lenhoso.

No Brasil, alguns trabalhos têm comprovado a formação de anéis de crescimento anuais e distintos no lenho das árvores de muitas espécies em determinadas regiões, resultante de um ritmo de crescimento intermitente das árvores (MAROCHI, 2007; ALVARADO, 2009; CHAGAS, 2009; LOBÃO, 2011). Espera-se que novos estudos sobre anéis de crescimento de espécies nativas possam suprir a falta de informações sobre a dendrocronologia no Brasil.

2.4.2. Potencialidade da aplicação da dendrocronologia no manejo florestal

Um dos grandes obstáculos na sustentabilidade do manejo das florestas tropicais consiste na obtenção de informações de crescimento e produção de biomassa das árvores. Essas informações são ainda incipientes para regiões tropicais, pois dependem de séries históricas de crescimento de espécies, tradicionalmente obtidas pelo inventário florestal permanente (MATTOS et al., 2011). Contudo, o amplo período de observação para a coletas de dados no inventário podem ser adverso. Mediante isso, a dendrocronologia pode ser uma ferramenta capaz de recompor este crescimento, por meio da análise dos seus anéis de crescimento.

Segundo Roig (2000), a dendrocronologia pode ser utilizada para estudos de produção florestal, sendo uma ferramenta importante para as tomadas de decisões direcionadas ao manejo florestal, pois fornece dados de longos períodos de crescimento e estimativas acuradas da idade das árvores extraídas nos seus anéis de crescimento. Porém, essa aplicação em

ecossistemas tropicais necessita do apoio de outros métodos, a fim de alcançar dados precisos, como as taxas de crescimento do tronco das árvores utilizando-se parcelas permanentes, o estudo da periodicidade com que se formam os anéis de crescimento e até mesmo a idade das árvores coletadas.

De acordo com Marochi (2007), o estudo dendrocronológico de uma espécie pode fornecer informações sobre o crescimento dessa espécie em florestas naturais, demonstrar os fatores que influenciam na formação da madeira, adequação de práticas de manejo e a avaliação da potencialidade silvicultural.

Alguns trabalhos relatam o crescimento como fonte de determinação dos volumes de colheita e ciclos de corte, visando o manejo florestal sustentável, por meio dos anéis de crescimento. Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Brien e Zuidema (2006) onde determinaram as idades ideais de corte e o ingresso e distribuição nas classes diamétricas para a futura exploração, mostrando com a análise de anéis pode ser forte auxiliadora no manejo de florestas tropicais. Mattos et al. (2010), utilizou a dendrocronologia para recuperar informações sobre o crescimento de espécies nativas do Pantanal Matogrossense, propondo um protocolo para o uso sustentável.

O potencial dendrocronológico para se estimar a idade e o crescimento em diâmetro das árvores já é uma etapa vencida para várias espécies. No entanto, é preciso incorporar a dendrocronologia visando o apoio do manejo das florestas tropicais (MATTOS et al. 2011).

2.5. ANÁLISE DE TRONCO

Segundo Campos e Leite (2009), a análise de tronco é a técnica utilizada para se fazer a reconstituição do crescimento passado de árvores que possuem anéis anuais, por meio do estudo de seções transversais retiradas do fuste e, assim determinar as taxas de crescimento do passado. A análise de tronco pode ser completa ou parcial. Ao fazer uma análise completa, a árvore é abatida e dela é retirado um determinado número de discos ao longo do tronco. Quando a árvore não é derrubada (análise do tronco parcial) retiram-se amostras cilíndricas de madeira à altura do DAP (1,3 m do solo), por meio do

Trado de Pressler, onde as amostras são acondicionadas em recipiente apropriados para evitar que ressequem e quebrem.

Conforme Encinas, Silva e Pinto (2005), a produção florestal de um determinado povoamento é estimada a partir do estudo do crescimento das árvores individuais ou da floresta como um todo, que em geral é realizado por meio de inventários florestais contínuos. Assim, a análise de tronco pode ser uma ferramenta alternativa para se avaliar o crescimento passado de uma árvore, de forma rápida e precisa, permitindo a realização de inferências sobre a produção futura da floresta. Com este método, pode-se reconstruir o passado de uma árvore desde o estágio juvenil até o momento em que é realizada a análise (Figura 2).

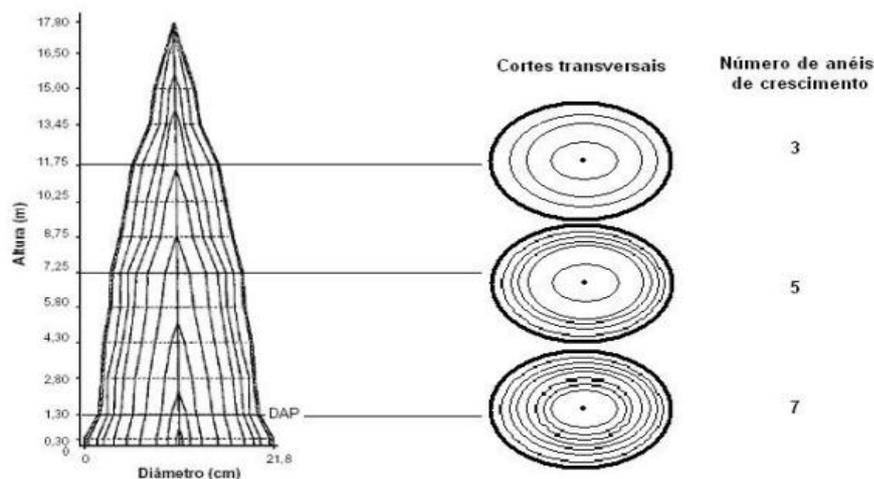


Figura 2. Perfil longitudinal de uma árvore e possibilidade de contagem de anéis de crescimento. (FONTE: ENCIMAS, SILVA E PINTO, 2005)

Segundo Finger (1992 citado por SANTOS, 2006) as alturas de retiradas dos discos a 0,1 e 1,3 m são consideradas fixas, pois à base (0,1 m) representa a idade real e a altura de 1,3 m permite a obtenção de dados sobre a dinâmica do *DAP*, área transversal e fator de forma. A distância de retirada dos discos acima do *DAP* vai depender do objetivo da análise do tronco, da espécie em questão, e do aproveitamento posterior da árvore derrubada, mas recomenda-se uma distância de 1 a 2 metros para que não haja perda da precisão.

A análise de tronco é importante, pois permite a investigação sobre a reação do crescimento em relação a fatores ambientais e ao manejo do povoamento; avaliação das alterações de forma do fuste; sincronização das

medidas dos anéis de crescimento e determinação do número de anéis ausente; e elaboração de modelos de produção (SANTOS, 2006).

Com a análise do tronco é possível o estudo eficaz das dimensões alcançadas pelas árvores em épocas passadas, obtendo-se importantes informações sobre parâmetros dendrométricos para delinear o desenvolvimento de uma determinada espécie, com o diâmetro, altura e volume (MAROCHI, 2007).

Conforme Ferreira e Scolforo (2006), a medição do diâmetro é direta, medindo a largura dos anéis anuais, já a determinação da altura total não é tão simples quanto ao diâmetro. Isto se deve ao fato do padrão de crescimento das árvores ser cônico e principalmente pela impossibilidade de se encontrar a posição dos nós anuais de crescimento que são os pontos ao longo do fuste onde o crescimento anual em altura termina. Com isso, para se determinar a altura em uma determinada idade, correspondente aos anéis anuais contados na superfície de uma seção de corte, quase sempre estará localizada a uma distância acima desta seção. Esta distância, somada da altura do seccionamento do fuste, fornecerá a altura total da árvore para uma determinada idade.

Para estimar a localização do nó de crescimento anual acima da seção de corte, vários métodos foram desenvolvidos, os baseados unicamente na contagem dos anéis: Método Gráfico, Método de Graves, Método de Lenhart e o Método de Carmean; e os métodos baseados na contagem e na medição da largura dos anéis de crescimento: Método de Newberry, Método das Proporções e o Método Tree Annual Radial Growth (FERREIRA; SCOLFORO, 2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA E AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES

A área onde foram coletadas as árvores de *Schizolobium amazonicum* está localizada entre os municípios de Paragominas e Ulianópolis (3°21'40''S e 47°36'57''W), estado do Pará em um plantio com área total de 278 hectares. O espaçamento do plantio foi 4 x 4 m, com idade de sete (7) anos.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região onde se localiza a área de estudo apresenta clima do tipo Aw (Clima tropical chuvoso, com expressivo período de estiagem). As temperaturas médias do ar variam de 25,6°C a 27,8°C. A precipitação anual varia de 857,8 mm a 2.787,7 mm, com média de 1.802 mm (RODRIGUES et al., 2003).

A Figura 3 apresenta dados de precipitação mensal coletados na estação climatológica de Paragominas, estado do Pará, localizada a 50 km da área de estudo. As formações do lenho inicial e tardio, que compõem um anel de crescimento, estão relacionadas com os períodos de chuva e seca respectivamente. Como o plantio foi realizado em janeiro de 2005, o primeiro anel de crescimento corresponde aproximadamente ao período de um ano, os demais anéis são anuais e começa a formação do lenho inicial aproximadamente em dezembro, quando inicia o período chuvoso até aproximadamente em junho, quando o lenho tardio começa a se formar, e este termina aproximadamente no fim de novembro, iniciando um novo período de crescimento. O último anel não é anual, pois as árvores foram abatidas em agosto de 2012 e a formação completa deste anel ocorreria apenas no fim de novembro de 2012.

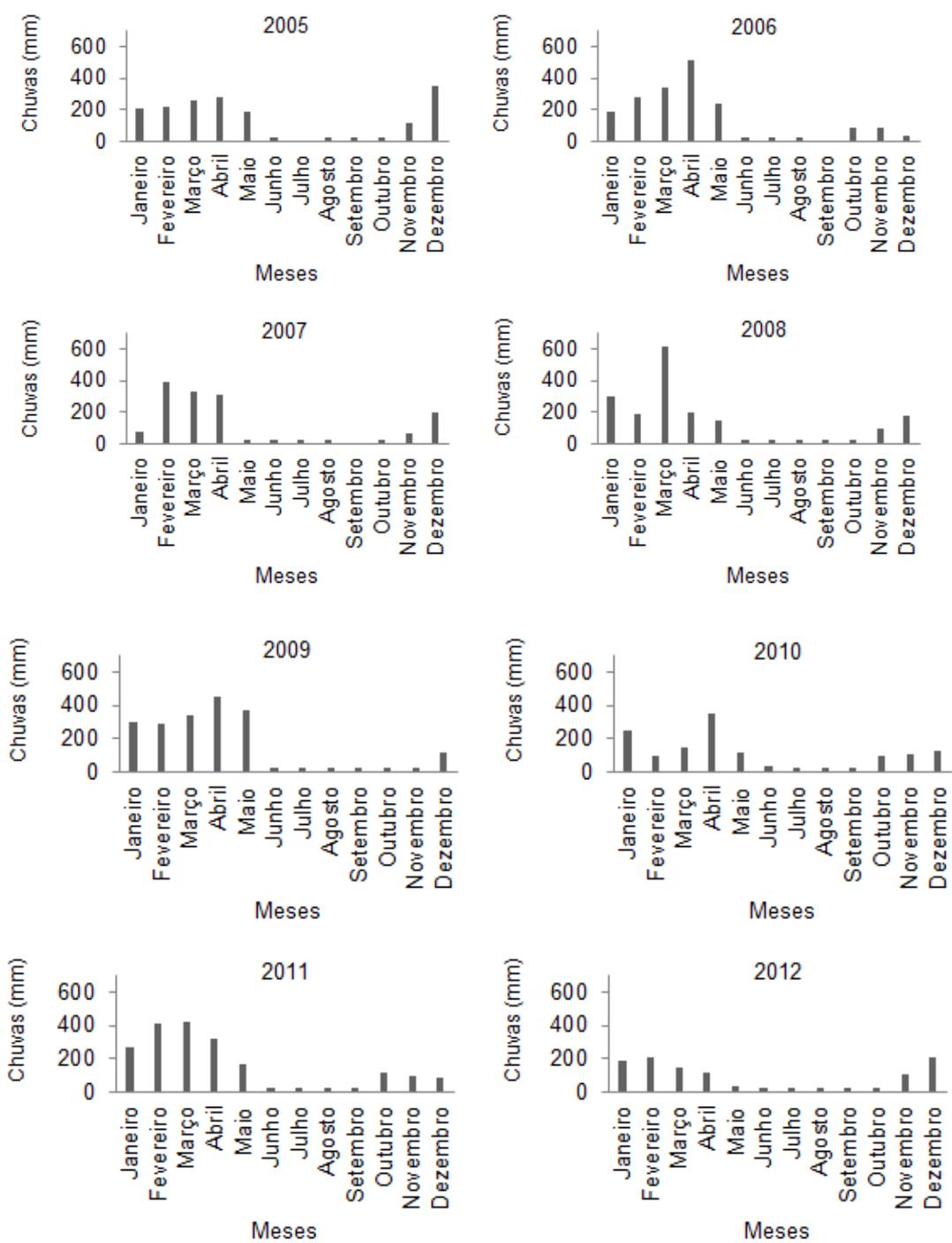


Figura 3. Precipitação mensal referente ao período de 2005-2012. (FONTE: AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013)

Foram abatidas 30 árvores de paricá sem problemas fitossanitários, representando toda a distribuição diamétrica do povoamento (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição de frequência das árvores por classes de diâmetro e altura comercial

Classe Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura Comercial (m)				Total
	5,3	9,3	13,3	17,3	
13-15	3				3
15-17	2	2			4
17-19		5			5
19-21		3			3
21-23			3	1	4
23-25			4	1	5
25-27				3	3
27-29				3	3
Total	5	10	7	8	30

3.2. COLETA DOS DISCOS PARA ANÁLISE DO TRONCO

As coletas dos discos para a análise de tronco foram executadas nas alturas de medição de 0,1 m; 0,3 m; 0,7 m; 1,3 m; e a partir deste ponto de metro em metro, até a primeira bifurcação.

Os discos para análise do tronco foram coletados com espessura de 4 cm, pulverizados com fungicida/inseticida à base de Fipronil+Cipermetrina, a fim de evitar a instalações de organismo xilófagos na madeira. Após o tratamento, os discos foram secos ao ar livre em um galpão e transportados para o Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Para as descrições macroscópicas e microscópicas da madeira utilizou-se a norma de procedimento em estudos de anatomia de madeira da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1974) e também a lista de características microscópicas para a identificação de madeira da Associação Internacional de Anatomistas de Madeira (IAWA, 1989).

A caracterização macroscópica dos anéis de crescimento do lenho de *Schizolobium amazonicum* foi realizada utilizando a superfície transversal polida de discos retirados na altura do *DAP*. Nessa superfície foram realizadas fotografias macroscópicas transversais por meio de uma câmera acoplada a uma lupa. O critério utilizado para a escolha dos discos amostrados foram aqueles que possuíam os anéis de crescimento mais nítidos.

Para caracterização microscópica retirou-se uma amostra do lenho na altura do *DAP*. Para obtenção dos cortes histológicos do plano transversal, a amostra de madeira foi amolecida por meio do cozimento em água e os cortes foram obtidos com auxílio de um micrótomo de deslize. Após este procedimento, foi preparada a lâmina temporária, usando-se glicerina e água na proporção 1:1. Com a lâmina temporária foram retiradas fotomicrografias do plano transversal pelo uso de uma câmera acoplada ao microscópio óptico.

3.4. PROCEDIMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Os discos para análise do tronco foram polidos com lixas de diferentes gramaturas (40, 50, 80, 150, 180, 360, 400, 600 grãos.polegadas⁻²) para o contraste dos anéis de crescimento (Figura 4). O polimento grosso com lixas de 40, 50, 80 grãos.polegadas⁻² foi o que demandou o maior tempo de lixamento e o que provocou o maior desgaste das lixas.

As amostras do lenho das árvores foram observadas sob microscópio estereoscópico com sistema de iluminação de fibra ótica, sendo demarcados os anéis de crescimento. Foram medidos quatro raios por disco, totalizando 412 discos com 1.648 raios mensurados. Marcou-se o maior raio e a partir desse foram demarcados os demais raios com 90° entre si. A medição dos

quatro raios por disco auxiliou na interpretação correta dos anéis faltantes ou duplicados. A contagem e a largura dos anéis foram realizadas no sentido medula-casca.



Figura 4. Preparação dos discos para o lixamento. A: Polimento grosso (Lixadeira de cinta); B: Polimento fino (Lixadeira manual orbital) C: Disco sem polimento; D: Disco com a superfície polida.

As seções transversais dos discos, logo após a medição dos anéis, foram digitalizadas em *scanner* com resolução de 1.200 dpi conforme metodologia proposta por Chagas (2009). A largura dos anéis de crescimento, previamente delimitados, foi determinada por meio do *software* Image-Pro Express 6.0. A partir da calibração do *software* com o uso da escala digitalizada e mediante a indicação manual de dois pontos, determinou-se a distância entre os mesmos obtendo os valores de largura dos anéis de crescimento. Na Figura 5 é ilustrado todo o procedimento de delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento.

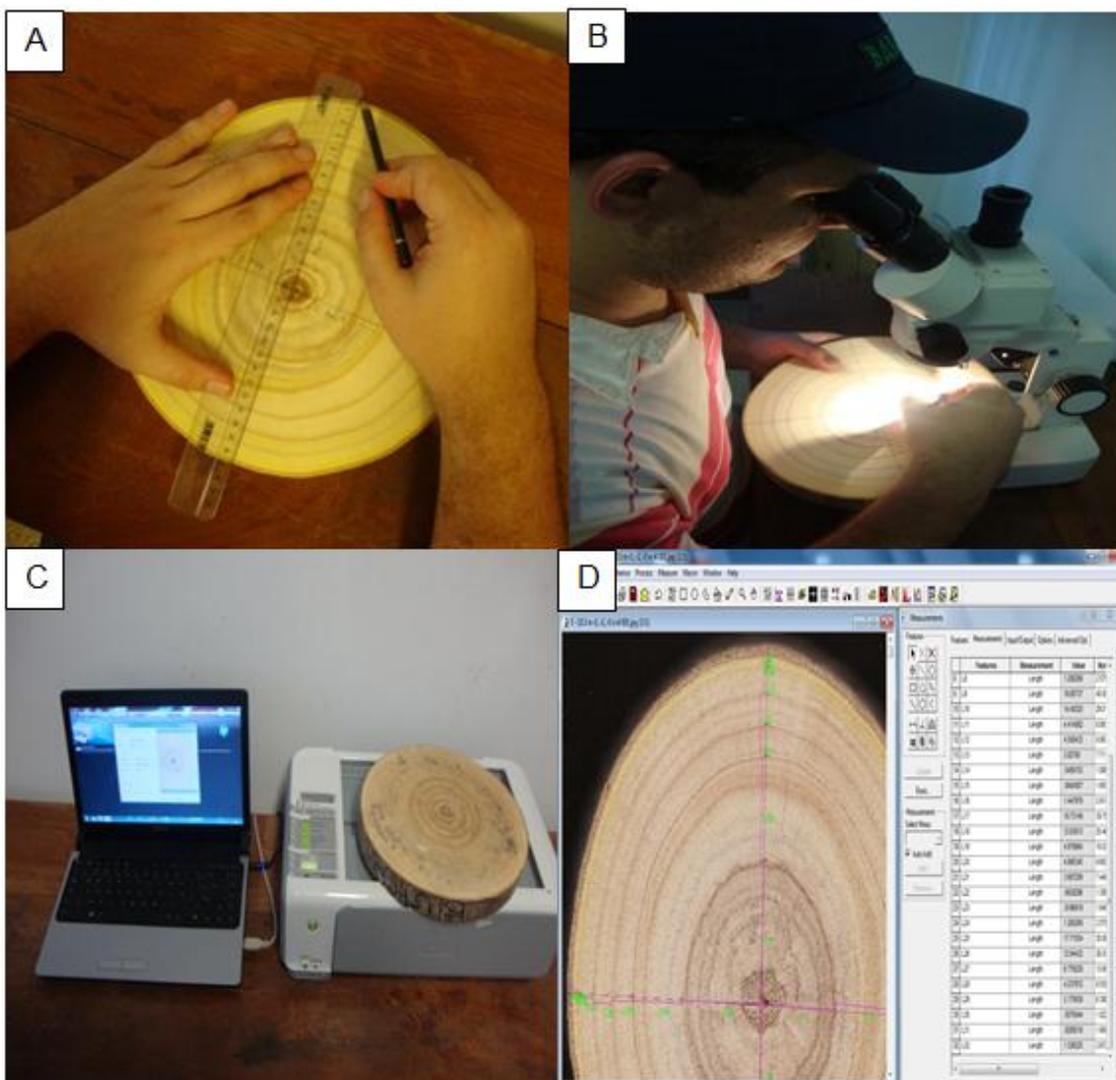


Figura 5. Procedimentos de delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento. A: Marcação dos quatro raios; B: Delimitação dos anéis de crescimento com o uso do microscópico; C: Digitalização dos discos; D: Mensuração das larguras dos anéis com o programa Image-Pro Express 6.0.

Obtidos os valores da largura dos anéis de crescimento de cada árvore, o passo seguinte foi a construção das séries de largura e a sua sincronização. No processo de sincronização verificou-se preliminarmente a correspondência dos valores de incremento entre as séries de cada árvore, organizando lado a lado em formato tabular, sendo possível na planilha eletrônica deslocar as células, a fim de incluir ou excluir anéis ausentes ou falsos, respectivamente.

A sincronização foi efetuada nas trinta árvores na altura referente ao *DAP*, a fim de se obter uma série *master* (série média das larguras dos anéis de crescimento das árvores) para a espécie *Schizolobium amazonicum* no local analisado.

3.5. ESTIMATIVA DAS ALTURAS POR MEIO DA ANÁLISE DO TRONCO

Para a estimativa da altura em cada idade foi utilizado o método de *Tree Annual Radial Growth* (TARG), desenvolvido por Kariuki (2002). Para o entendimento do método é ilustrado, na Figura 6, o diagrama de uma seção e suas variáveis importantes.

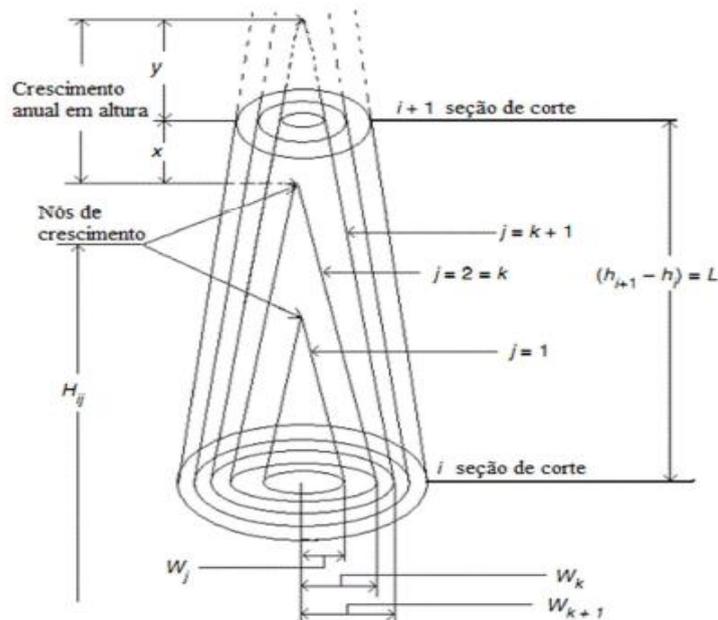


Figura 6. Representação de uma seção de fuste, exibindo *i* e *i+1* seção de corte, ilustrando a posição dos nós de crescimento anual e outras notações importantes para o cálculo da altura. (FONTE: ADAPTADO DE KARIUKI, 2002)

Para a estimação da altura em cada idade, primeiramente é necessário encontrar o comprimento a partir da extremidade do último crescimento anual em altura que está contido dentro da seção até o disco acima, representando na Figura 6, pela variável x , e expresso matematicamente pela Equação 1.

$$x = L \left(\frac{w_{k+1} - w_k}{w_{k+1}} \right) \quad (1)$$

Em que:

x = Crescimento anual em altura contido dentro da seção;

L = Comprimento da seção;

w_k = Raio acumulado do anel para todos os anéis internos associados ao crescimento em altura que estão completamente ou parcialmente contidos dentro da seção (raio para o k -ésimo anel) para o i -ésimo disco ;

w_{k+1} = Raio acumulado para o anel de crescimento $k+1$.

Após encontrar o valor do crescimento anual em altura contido dentro da seção, foi calculado o comprimento do crescimento anual que termina dentro da seção pela Equação 2, onde assume-se que uma dada percentagem do crescimento anual em altura que está completamente ou parcialmente contida em uma seção é associada um percentual igual ao crescimento anual radial na base da seção (KARIUKI, 2002).

$$\Delta L = \frac{w_j(L - x)}{w_k} \quad (2)$$

Em que:

ΔL = Comprimento do crescimento anual que termina dentro da seção;

w_j = Raio do anel associado com o crescimento anual em altura ($x+y$).

Finalmente, foi estimado a altura em cada idade pelo método TARG (Equação 3).

$$H_{ij} = h_i + \Delta L \quad (3)$$

Em que:

H_{ij} = Altura da árvore estimada para as várias idades pelo método TARG;

h_i = Altura até o i-ésimo disco.

A escolha deste método para a estimativa da altura em detrimento aos outros métodos foi devido ser baseado tanto na contagem como na medição da largura dos anéis de crescimento, além de Kariuki (2002), afirmar que este possui boas estimativas para intervalos de amostras de 1,5 m quando comparado com os outros métodos.

3.6. AJUSTE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS

Com os pares de diâmetro e altura comercial em cada idade, além do volume calculado pela análise do tronco completa, foi possível ajustar modelos de volume comercial. Os modelos volumétricos foram ajustados por idade bem como considerando todas as idades (modelo geral).

Os modelos empregados para o desenvolvimento de regressões para a estimativa do volume foram: Schumacher & Hall e Spurr, conforme descrito na Tabela 2. Para a seleção do melhor modelo de volume comercial foram utilizadas as estatísticas descritas no item 3.10.

Tabela 2. Modelos volumétricos avaliados para estimar o volume comercial de árvores de paricá

Modelo/Autor	Modelo Estatístico
Schumacher e Hall	$Y_{ij} = \beta_0 DAP_{ij}^{\beta_1} H_{ij}^{\beta_2} \varepsilon_i$
Spurr	$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 DAP_{ij}^2 H_{ij} + \varepsilon_i$

Em que: Y_{ij} = volume referente a i-ésima árvore no j-ésimo ano (m^3); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros a serem estimados; DAP_{ij} = diâmetro a altura de 1,3 m do solo para a i-ésima árvore no j-ésimo ano (cm); H_{ij} = altura comercial para a i-ésima árvore no j-ésimo ano (m); ε_i = erro aleatório.

3.6.1. Avaliação do efeito da idade nas relações volumétricas

Considerando que a idade é uma das variáveis que pode afetar o desempenho da relação volumétrica, tornou-se necessário verificar se a idade estaria afetando as relações entre diâmetro e altura comercial. Para verificar esta hipótese, assumiu-se que um modelo fosse escolhido para todas as idades ou grupos de idades.

Para verificar o efeito da idade, foi necessário aplicar um teste de identidade de modelo para avaliar as hipóteses de que as equações referentes a um mesmo modelo são (H_0) ou não (H_a) estatisticamente iguais em nível de 5 % de significância.

O método para testar a identidade de modelo baseia-se no teste da razão de verossimilhança, com aproximação na estatística F como apresentado por Regazzi e Silva (2004) na Equação 4.

$$F_{(H_0)} = \frac{(SQR_{\omega} - SQR_{\Omega}) / (nr_{\omega} - nr_{\Omega})}{(SQR_{\Omega}) / (N - Hp)} \quad (4)$$

Sob (H_0)
~ $F\{(nr_{\omega} - nr_{\Omega}); (N - Hp)\}$

Em que:

$F_{(H_0)}$ = Estatística F calculada;

SQR_{ω} = Soma de quadrados dos resíduos da regressão para o modelo reduzido;

SQR_{Ω} = Soma de quadrados dos resíduos da regressão para o modelo completo;

nr_{ω} = Números de graus de liberdade dos resíduos da regressão do modelo reduzido;

nr_{Ω} = Números de graus de liberdade dos resíduos da regressão do modelo completo;

N = Número total de dados;

Hp = Número total de parâmetros do modelo completo.

No caso deste trabalho, as hipóteses testadas pela estatística F, em nível de 5 % de significância foram as seguintes: H_0^1 : parâmetros de todas as idades (modelo geral); H_0^2 : parâmetros das idades de um; dois e três anos e H_0^3 : parâmetros das idades de quatro; cinco; seis; sete anos e sete anos e oito meses.

$$H_0^1: \beta_{01} = \dots = \beta_{08} = \beta_0; \beta_{11} = \dots = \beta_{18} = \beta_1; \beta_{21} = \dots = \beta_{28} = \beta_2; \beta_{31} = \dots = \beta_{38} = \beta_3$$

$$H_0^2: \beta_{01} = \dots = \beta_{03} = \beta_0; \beta_{11} = \dots = \beta_{13} = \beta_1; \beta_{21} = \dots = \beta_{23} = \beta_2; \beta_{31} = \dots = \beta_{33} = \beta_3$$

$$H_0^3: \beta_{04} = \dots = \beta_{08} = \beta_0; \beta_{14} = \dots = \beta_{18} = \beta_1; \beta_{24} = \dots = \beta_{28} = \beta_2; \beta_{34} = \dots = \beta_{38} = \beta_3$$

H_a : pelo menos uma igualdade é uma desigualdade.

A não rejeição de H_0 em nível de 5 % de significância para o teste F leva a concluir que as equações ajustadas para as diferentes idades são iguais, podendo-se, portanto, empregar uma única equação que represente todas as idades ou o grupo de idades testados. Conclusão contrária ocorreria se fosse rejeitado H_0 , ou seja, seria necessária uma equação para cada idade.

3.7. AJUSTE DE MODELOS DE AFILAMENTO

Com os dados obtidos de *DAP*, altura comercial (H_c), e diâmetro (d_{ij}) na altura (h_{ij}), foram ajustados modelos de afilamento com a finalidade de obter as estimativas de diâmetro e a altura em qualquer seção do tronco. Para esse fim, foram escolhidos dois modelos de afilamento (Tabela 3) sendo eles: Demaerschalk e Ormerod. Para a seleção do melhor modelo de afilamento foram utilizadas as estatísticas descritas no item 3.10.

Para os fins deste estudo, os modelos foram ajustados com o diâmetro mínimo comercial de 10 cm, utilizado regularmente nas empresas de laminação de paricá, devido à perda do rolo resto.

3.8. AJUSTE DE MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PREDIÇÃO E FATOR DE FORMA COMERCIAL MÉDIO

Para a modelagem do crescimento em diâmetro na estrutura de predição e o fator de forma comercial médio das árvores foram testados dois modelos (Tabela 4). Para a seleção do melhor modelo foi utilizadas as estatísticas descritas no item 3.10.

Tabela 3. Modelos de afilamento avaliados para estimar o diâmetro e a altura ao longo do fuste

Modelo/Autor	Modelo Estatístico
Demaerschalk	$d_{ij} = 10^{\beta_0} DAP_i^{\beta_1} (H_c - h_{ij})^{\beta_2} H_c^{\beta_3} + \varepsilon_i$ $h_{ij} = H_c - (d_{ij} 10^{-\beta_0} DAP_i^{-\beta_1} H_c^{-\beta_3})^{\frac{1}{\beta_2}} + \varepsilon_i$
Ormerod	$d_{ij} = DAP_i \left(\frac{H_c - h_{ij}}{H_c - 1,3} \right)^{\beta_1} + \varepsilon_i$ $h_{ij} = H_c - \left[\left(\frac{d_{ij}}{DAP_i} \right)^{\frac{1}{\beta_1}} (H_c - 1,3) \right] + \varepsilon_i$

Em que: d_{ij} = diâmetro referente a i-ésima árvore na j-ésima posição (cm); h_{ij} = altura referente a i-ésima árvore na j-ésima posição (m); DAP_i = diâmetro a altura de 1,3 m do solo para a i-ésima árvore (cm); H_c = altura comercial para a i-ésima árvore (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros a serem estimados; ε_i = erro aleatório.

Tabela 4. Modelos avaliados para estimar o crescimento em diâmetro e fator de forma comercial médio

Modelo/Autor	Modelo Estatístico
Exponencial	$Y_{ij} = \exp\left(\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{l_i}\right) + \varepsilon_i$
Logístico	$Y_{ij} = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 \exp(-\beta_2 l_i)} + \varepsilon_i$

Em que: Y_{ij} = diâmetro referente a i-ésima árvore no j-ésimo ano (cm); ou fator de forma comercial médio referente a i-ésima árvore no j-ésimo ano; l_i = idade da i-ésima árvore (anos); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros a serem estimados; ε_i = erro aleatório.

3.9. AJUSTE DE MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PROJEÇÃO

Para estimar o crescimento em diâmetro na forma de projeção ($t \rightarrow t_{+1}$) foram testados dois modelos (Tabela 5). Para a seleção do melhor modelo foi utilizadas as estatísticas descritas no item 3.10.

Tabela 5. Modelos avaliados para estimar o crescimento em diâmetro na estrutura de projeção

Modelo/Autor	Modelo Estatístico
Linear	$Y_2 = Y_1 + \left\{ \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1} \right) \right\} + \varepsilon_i$
Piennar e Schiver	$Y_2 = Y_1 \exp\{-\beta_0(l_2^{\beta_1} - l_1^{\beta_1})\} + \varepsilon_i$

Em que: Y_2 = diâmetro em idade futura (cm); Y_1 = diâmetro em idade corrente (cm); l_2 = idade futura (anos); l_1 = idade corrente (anos); β_0, β_1 = parâmetros a serem estimados; ε_i = erro aleatório.

3.10. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS MODELOS

Para análise dos dados e escolha do melhor modelo foi utilizado o *software* R versão 2.15.1 (R CORE TEAM, 2012) e as seguintes estatísticas descritas nos itens abaixo.

3.10.1. Erro padrão residual absoluto (S_{YX})

O erro padrão residual absoluto (Equação 5) expressa o quanto em termos médios os valores observados variam em relação aos estimados. A unidade é a mesma da variável dependente, sendo que quanto mais próximo de zero, mais eficiente é o modelo.

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \quad (5)$$

Em que:

S_{YX} = Erro padrão residual da variável dependente;

Y_i = Valor observado da variável dependente;

\hat{Y}_i = Valor estimado da variável dependente;

n = Número de observações;

p = Número de parâmetros do modelo.

3.10.2. Erro padrão residual relativo ($S_{YX(\%)}$)

O erro padrão residual relativo (Equação 6), indica o erro médio relativo associado ao uso da equação. Fornece informações relativas, ou seja, independentes da grandeza da variável dependente.

$$S_{YX(\%)} = \frac{S_{YX}}{\bar{Y}} 100 \quad (6)$$

Em que:

\bar{Y} = Média dos valores observado da variável dependente.

3.10.3. Coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2)

O coeficiente de determinação ajustado (Equação 7) expressa a proporção da soma de quadrados total que é explicado pela regressão sendo uma medida do grau de ajustamento da regressão aos dados. Como foram avaliados modelos de natureza diferente e com diferentes números de parâmetros, para evitar qualquer tipo de tendência, esta estatística será calculada de acordo com o proposto por Kvalseth (1988).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} ; \bar{R}^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right) (1-R^2) \quad (7)$$

3.10.4. Análise gráfica dos resíduos

Na análise gráfica dos resíduos, os gráficos terão como variável independente o valor estimado e em outro casos o valor observado, e como variável dependente os erros percentuais ($E(\%)$) – (Equação 8) e no caso do ajuste de modelo de afilamento para altura os resíduos padronizados (D) – (Equação 9).

$$E(\%) = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) 100 \quad (8)$$

$$D = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{S_{YX}} \right) \quad (9)$$

3.10.5. Testes complementares

Foram também realizadas análises complementares por meio das estatísticas: viés (V); média das diferenças absolutas (MD); e desvio padrão das diferenças (DPD), que estão na Tabela 6. A partir da análise das estatísticas V , MD e DPD , procedeu-se a ordenação dos modelos que proporcionam o melhor desempenho da modelagem, atribuindo pesos de acordo com os resultados da estatística. Desta forma, os modelos que obteve a menor soma dos pesos atribuídos foi o que teve o melhor desempenho na estimação da variável em estudo.

Tabela 6. Testes estatísticos complementares viés (V), média das diferenças (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD)

Viés (V)	Média das diferenças (MD)	Desvio padrão das diferenças (DPD)
$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}$	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i }{n}$	$DPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n}}{n-p}}$

Em que: $d_i = |Y_i - \hat{Y}_i|$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

A madeira das árvores de *Schizolobium amazonicum* em plantio de curta duração macroscopicamente apresenta camadas de crescimento (Figura 7) demarcadas por zona fibrosa, ou seja, maior espessamento da parede das fibras no lenho tardio.



Figura 7. Camadas de crescimento demarcadas por zona fibrosa. Barra: 1 milímetro.

Na Figura 8 pode-se observar a presença de quatro anéis de crescimento verdadeiro e um anel de crescimento falso, este caracterizado pela presença de parênquima confluyente. Notou-se que na maioria dos discos há ocorrência dos anéis de crescimento falsos, principalmente, entre os anéis anuais do quinto, sexto e sétimo ano, ou seja, próximos à casca. Essa situação gera problemas durante o estudo, uma vez que se pode considerar certa camada anual como se fosse produzida em dois anos sucessivos.

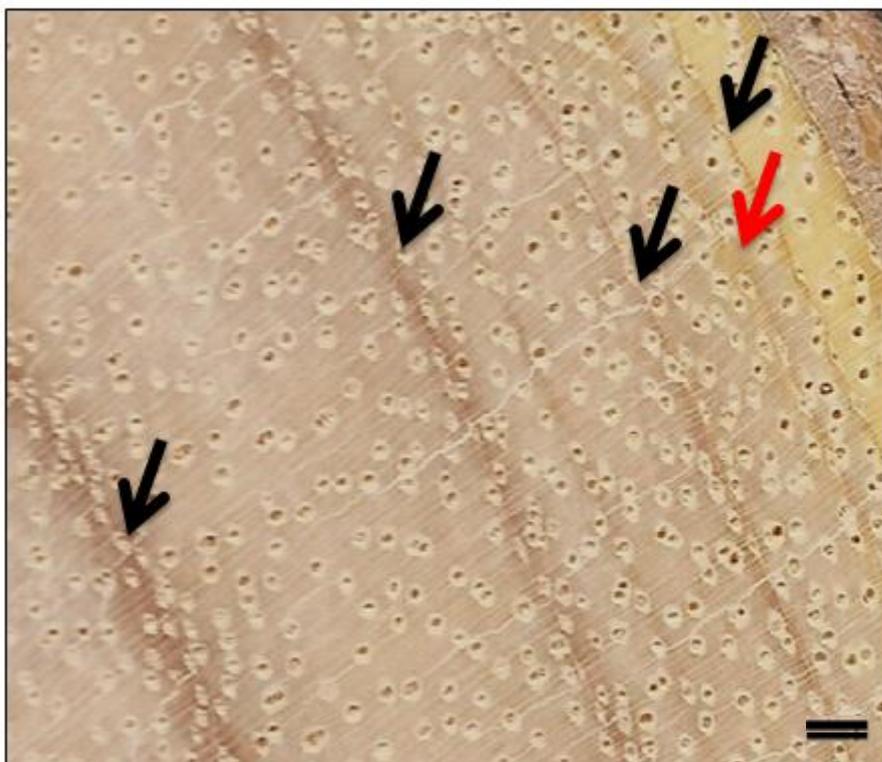


Figura 8. Estrutura anatômica macroscópica do anel de crescimento de *Schizolobium amazonicum*: anel de crescimento verdadeiro (seta preta) e anel de crescimento falso (seta vermelha). Barra: 1 milímetro.

A estrutura anatômica no plano transversal do xilema secundário da espécie de *Schizolobium amazonicum* é apresentada na fotomicrografia (Figura 9). Nela distingue-se facilmente a presença do lenho inicial e o lenho tardio, além do limite entre os anéis de crescimento.

Conforme a Figura 3, o regime pluviométrico e o período de estiagem da região são bastante sazonais, ou seja, possuem períodos definidos de chuva e seca, um indicativo de que o anel de crescimento seja anual. Na Figura 3 percebe-se que o período de estiagem no local de crescimento é pequeno em relação ao período de chuva, demonstrando a maior quantidade de lenho inicial em relação ao lenho tardio, em todos os discos analisados.

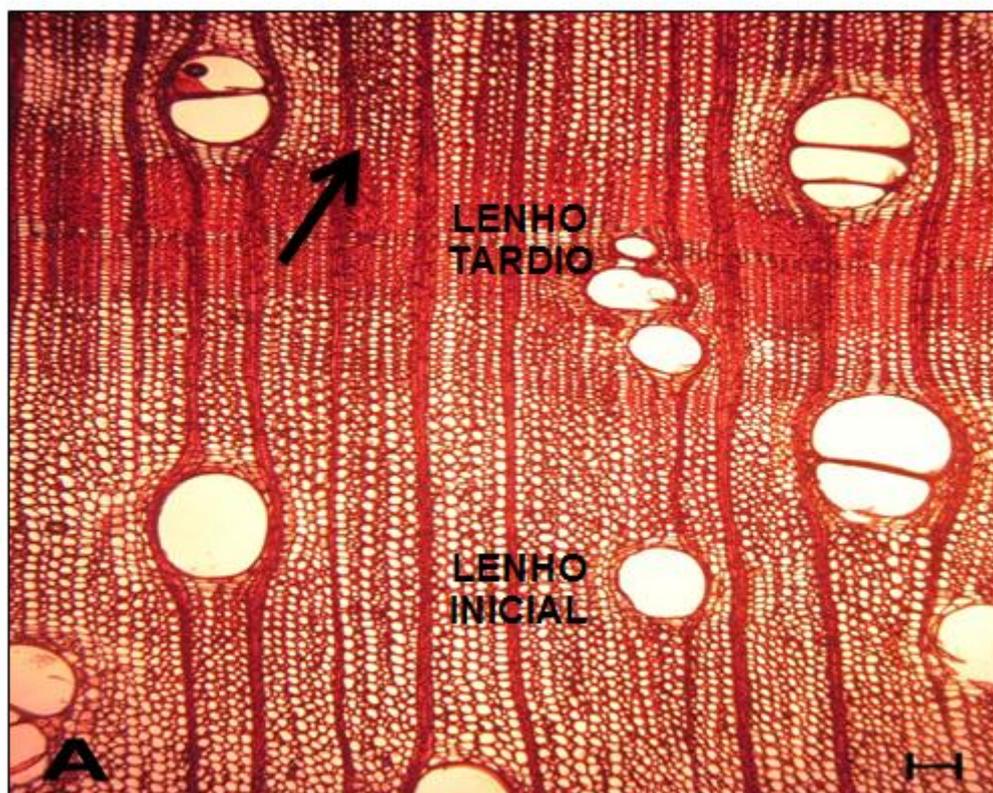


Figura 9. Fotomicrografia ilustrando o plano de observação transversal da estrutura anatômica do *Schizolobium amazonicum*. Seta preta indica o limite de anel de crescimento. Barra: 100 μ m.

A comparação da estrutura anatômica dos anéis de crescimento formados no lenho das árvores de *Schizolobium amazonicum*, com o descrito para *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* por Lobão (2011) indica diferenças estruturais. No lenho das árvores de florestas nativas de paricá descrito por Lobão (2011), o anel de crescimento se caracteriza pelo maior espessamento da parede das fibras no lenho tardio, além da presença de uma faixa de células parenquimáticas nos limites nos anéis de crescimento (parênquima marginal).

4.2. ELABORAÇÃO DA CRONOLOGIA MASTER

Com o controle de qualidade das séries de anéis de crescimento, gerou-se uma cronologia *master*, com os dados da largura do anel (Figura 10). Esta cronologia *master* representa a curva de incremento corrente anual (ICA) em largura do anel. Percebe-se que os dois primeiros anos foram os mais

favoráveis para o crescimento da espécie e após este crescimento as árvores passam por um decréscimo do crescimento.

Por meio da série *master* observa-se que os dois primeiros anos representaram 57,33% do tamanho da largura dos anéis em relação ao total. Apenas com os dados desta pesquisa não foi possível esclarecer quais as causas do elevado tamanho da largura dos anéis nesses dois primeiros anos.

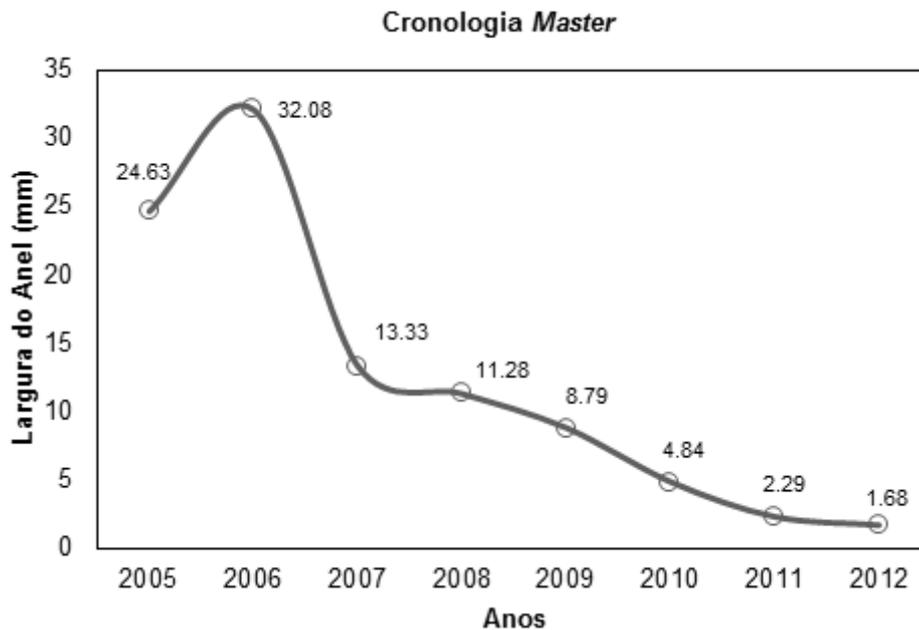


Figura 10. Série *master* da largura dos anéis de crescimento.

A Figura 11 apresenta a largura dos anéis acumulado, ou seja, a curva de produção da largura dos anéis. Por meio dela, têm-se o raio médio em cada idade, por exemplo, na idade de dois, três, quatro e cinco anos o raio médio foi de 56,70; 70,03; 81,31; e 90,11 mm, respectivamente. Santos (2012) encontrou valores de raio médio quadrático para mesma idade e espaçamento de *Schizolobium amazonicum* de 50,3; 79,50; 87,5 e 92 cm o que corrobora os resultados obtidos nesta pesquisa.

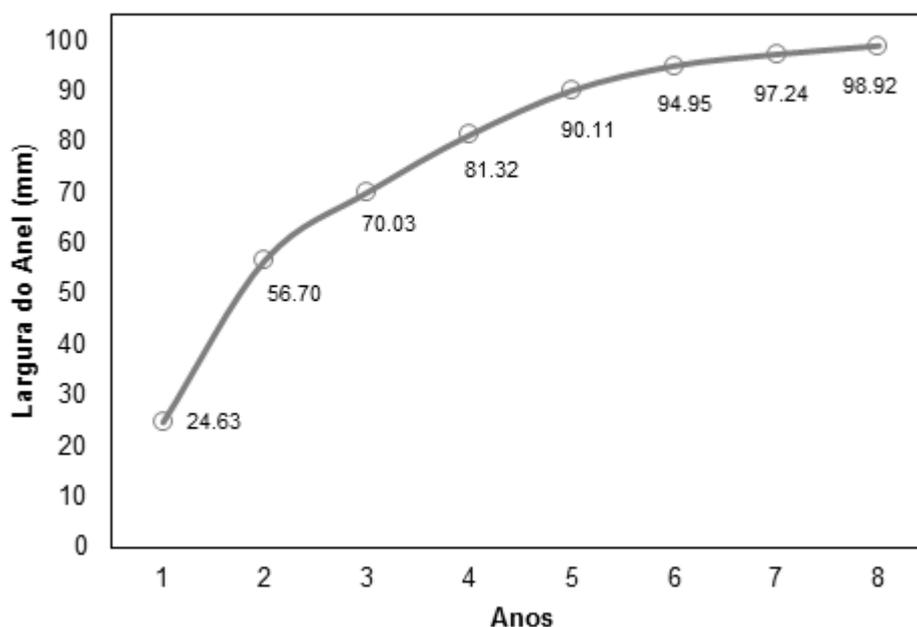


Figura 11. Curva acumulada da largura dos anéis.

4.3. ANÁLISE DO TRONCO, ESTIMATIVAS DA ALTURA E RECONSTITUIÇÃO DO PERFIL EM VOLUME

Na presente pesquisa não foi possível estimar a altura em cada idade, pois o último disco retirado de cada árvore possuía o quinto anel e, em outras amostras, o sexto anel de crescimento anual, possibilitando apenas a estimativa da altura nas idades de um e dois anos. Isto ocorreu pelo fato do diâmetro mínimo ser elevado em todas as árvores amostradas, conseqüentemente para a estimativa das alturas nas outras idades seria necessário à retirada de outros discos acima da altura comercial dessas árvores.

Na Tabela 7 encontram-se as estimativas da altura pelo método de TARG para as árvores amostradas em diferentes idades. Comparando as alturas encontradas na Tabela 7 (análise do tronco) com a base de dados (inventário contínuo) do trabalho de Santos (2012), na qual foram utilizadas a mesma espécie e o mesmo espaçamento em regiões próximas, a variação das alturas foram similares. Para o autor acima citado, este encontrou a variação de altura para o primeiro ano de 1,5 a 6,5 m e segundo ano de 3,3 a 16 m. Já nesta pesquisa a variação para o primeiro ano foi de 1,81 a 8,5 m e segundo

ano de 11,77 a 15,87 m. Percebe-se que a variação da altura tanto para o método de análise do tronco como para o inventário contínuo foi semelhante.

Tabela 7. Alturas estimadas pelo método TARG para cada árvore em diferentes idades

Árvore	Idade (anos)	h_i (m)	H_{ij} (m)	Árvore	Idade (anos)	h_i (m)	H_{ij} (m)
1	1	1,3	3,03	7	1	4,3	6,35
12	1	1,3	1,81		2	11,3	11,84
13	1	3,3	4,08	15	1	4,3	7,03
21	1	2,3	3,2		2	13,3	13,76
28	1	4,3	4,54	14	1	4,3	8,5
30	1	5,3	5,87		2	13,3	13,85
22	1	3,3	4,72	16	1	3,3	5,8
23	1	3,3	4,89		2	13,3	15,23
29	1	3,3	4,41	27	1	3,3	6,52
17	1	3,3	4,85		2	14,3	14,76
20	1	4,3	5,14	5	1	5,3	8,57
24	1	4,3	5,55		2	14,3	15,51
2	1	4,3	5,93	18	1	5,3	7,66
3	1	2,3	5,19		2	14,3	15,14
4	1	3,3	5,23	25	1	4,3	6,81
26	1	3,3	5,84		2	13,3	14,33
9	1	4,3	6,45	10	1	3,3	5,79
	2	11,3	11,77		2	13,3	15,87
19	1	3,3	5,32	11	1	5,3	7,8
	2	11,3	12,12		2	14,3	14,74
6	1	4,3	7,58	8	1	3,3	6,18
	2	15,3	15,74		2	13,3	13,91

Em que: h_i = altura até o i-ésimo disco (m); H_{ij} = altura da árvore estimada pelo método TARG (m)

Na Figura 12 é possível visualizar o perfil do volume de duas árvores de diferentes classes diamétricas. Em ambos os perfis se observam nitidamente as mudanças na forma do fuste descritas por Assmann (1970). Por exemplo, para a idade de um ano, as duas árvores, passaram de neilóide para

parabolóide, a cerca de 1,30 metros de altura e, depois, a aproximadamente 3 metros, de parabolóide para cone.

Observa-se que ambas as árvores possuíam um crescimento elevado em diâmetro até os cinco anos de idade e depois um crescimento reduzido, o que também foi notado para as outras árvores analisadas.

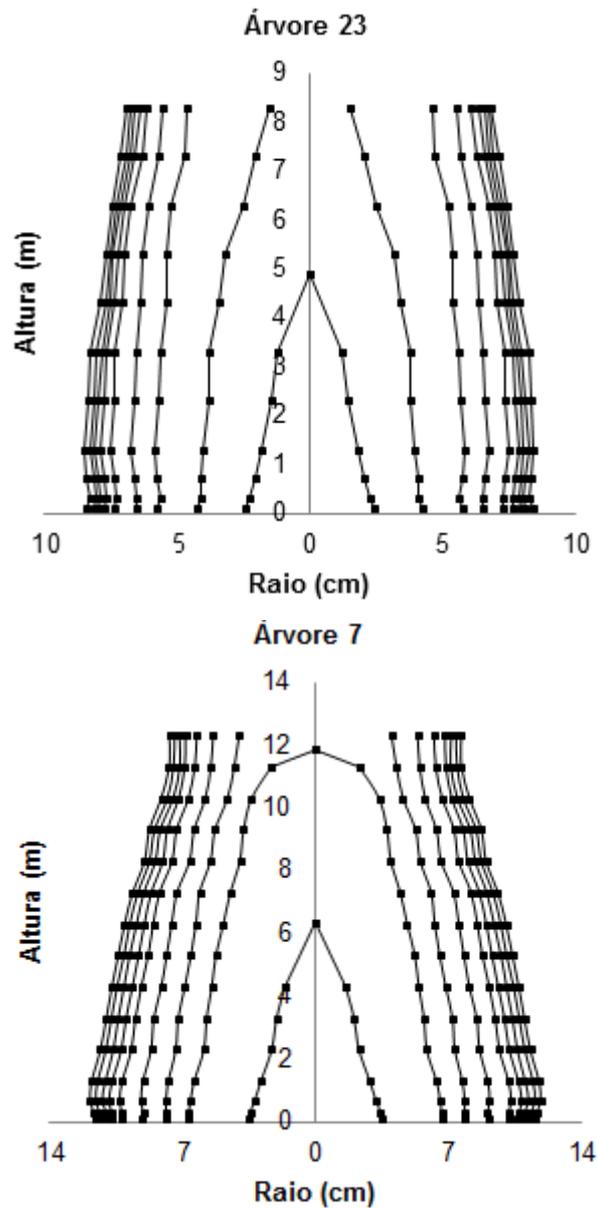


Figura 12. Perfis obtidos para duas árvores por meio da análise do tronco.

4.4. ESTIMATIVAS DO VOLUME COMERCIAL PARA O PARICÁ

Conforme os resultados observados na Tabela 8, nota-se que, de modo geral, os modelos ajustados apresentaram comportamento semelhante nas diferentes idades. Porém, o modelo de Schumacher & Hall foi o mais preciso em todas as idades e agrupando todas as idades (modelo geral).

Tabela 8. Estimativas dos parâmetros das equações de volume comercial ajustada para o paricá e suas respectivas medidas de precisão, em diferentes idades e agrupando todas as idades

1º Ano						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00012*	1,8580*	0,5453*	0,000547	8,06	97,77
Spurr	0,00148*	0,00003*		0,000661	9,73	96,76
2º Ano						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00062*	2,4770*	0,3884*	0,0038	6,08	97,83
Spurr	0,01575*	0,00003*		0,0078	12,32	91,13
3º Ano						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00004*	2,5850*	0,3970*	0,0108	8,96	96,55
Spurr	0,0254*	0,00004*		0,0152	12,59	93,19
4º Ano						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00010*	2,1210*	0,6017*	0,0116	6,55	98,46
Spurr	0,0291*	0,00004*		0,0142	8,01	97,69
5º Ano						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00009*	2,1120*	0,6539*	0,0120	5,19	99,16
Spurr	0,0299*	0,00004*		0,0142	6,18	98,82

Continua...

Tabela 8: Continuação

6º Ano						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00010*	2,0080*	0,7417*	0,0126	4,71	99,40
Spurr	0,0284*	0,00004*		0,0133	4,99	99,32
7º Ano						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00010*	1,9720*	0,7769*	0,0131	4,58	99,46
Spurr	0,0281*	0,00005*		0,0134	4,66	99,44
Sete anos e oito meses						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00009*	2,0540*	0,7442*	0,0144	4,77	99,45
Spurr	0,0279*	0,00005*		0,0145	4,80	99,44
Geral						
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{YX}(m^3)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Sch. e Hall	0,00006*	2,3150*	0,5881*	0,0114	6,28	99,49
Spurr	0,0083*	0,00005*		0,0196	10,79	98,50

Em que: *Significativo ao nível de 5% de significância pelo teste *t* de *student*.

Hoffmann (2009), trabalhando com o ajuste de equações de volume total para o paricá no mesmo espaçamento nas idades de cinco, seis e sete anos, obteve resultados inferiores para o $R^2_{ajustado}$ e superiores para o $S_{YX}(\%)$ (cinco anos: $R^2_{ajustado}= 94,42$ e $S_{YX}= 8,06\%$; seis anos: $R^2_{ajustado}= 94,71$ e $S_{YX}= 10,86\%$; sete anos: $R^2_{ajustado}= 96,57$ e $S_{YX}= 7,57\%$), comparado com os modelos ajustado nesta pesquisa.

Na Tabela 9 encontram-se as estatísticas *V*, *DPD* e *MD* para os modelos ajustados nas diferentes idades. Nela observa-se que o modelo de Schumacher & Hall apresentou melhor precisão nas estimativas do volume comercial. Estes resultados corroboram aqueles encontrados nas estatísticas de precisão (erro padrão e coeficiente de determinação ajustado).

Tabela 9. Testes estatísticos complementares para a estimativa do volume do paricá, em diferentes idades e agrupando todas as idades

1º Ano				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	1,76 x 10 ⁻⁵ (2)	0,000547 (1)	0,000420 (1)	4
Spurr	3,32 x 10 ^{-7*} (1)	0,000661 (2)	0,000518 (2)	5
2º Ano				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	-0,000116 (2)	0,00387 (1)	0,00270 (1)	4
Spurr	-4,59 x 10 ^{-6*} (1)	0,00784 (2)	0,00635 (2)	5
3º Ano				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	-0,000133 (2)	0,0108 (1)	0,00805 (1)	4
Spurr	1,77 x 10 ^{-6*} (1)	0,0152 (2)	0,01208 (2)	5
4º Ano				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	-0,000423 (2)	0,0116 (1)	0,00869 (1)	4
Spurr	-1,91 x 10 ^{-5*} (1)	0,0142 (2)	0,01130 (2)	5
5º Ano				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	-0,000164 (2)	0,0120 (1)	0,00857 (1)	4
Spurr	-1,44 x 10 ^{-5*} (1)	0,0142 (2)	0,0104 (2)	5
6º Ano				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	0,000158 (2)	0,01260 (1)	0,00891 (1)	4
Spurr	3,49 x 10 ^{-5*} (1)	0,01336 (2)	0,01031 (2)	5
7º Ano				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	0,000143 (2)	0,01319 (1)	0,00922 (1)	4
Spurr	6,19 x 10 ^{-6*} (1)	0,01343 (2)	0,01045 (3)	5

Continua...

Tabela 9: Continuação

Sete anos e oito meses				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	0,00084 (2)	0,01441 (1)	0,00989 (1)	4
Spurr	$4,10 \times 10^{-6}$ * (1)	0,01452 (2)	0,01101 (2)	5
Geral				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Schumacher e Hall	$1,56 \times 10^{-4}$ (2)	0,01145 (1)	0,00789 (1)	4
Spurr	$-1,97 \times 10^{-5}$ * (1)	0,01967 (2)	0,01565 (2)	5

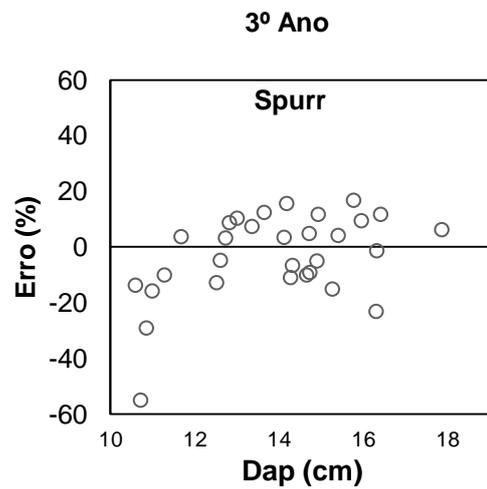
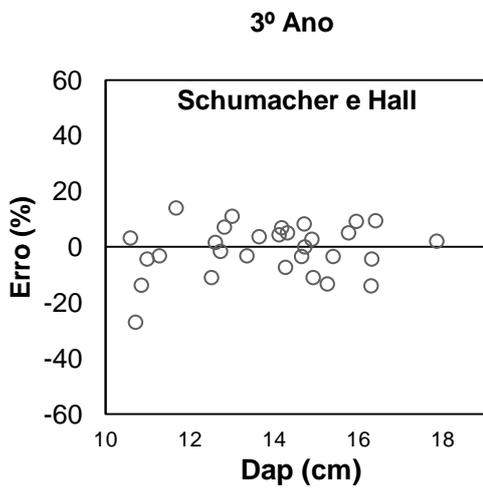
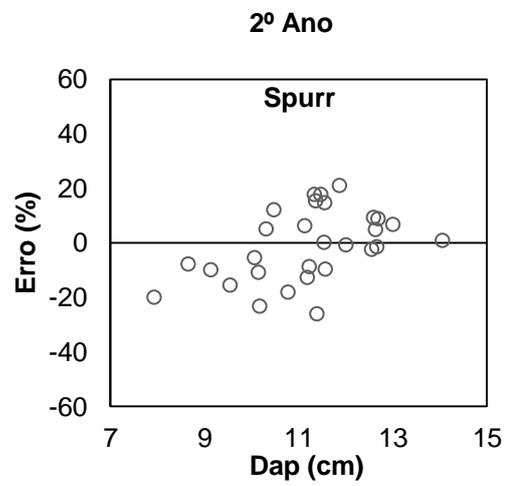
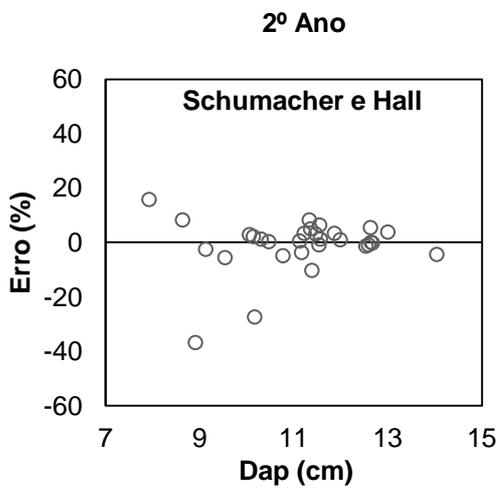
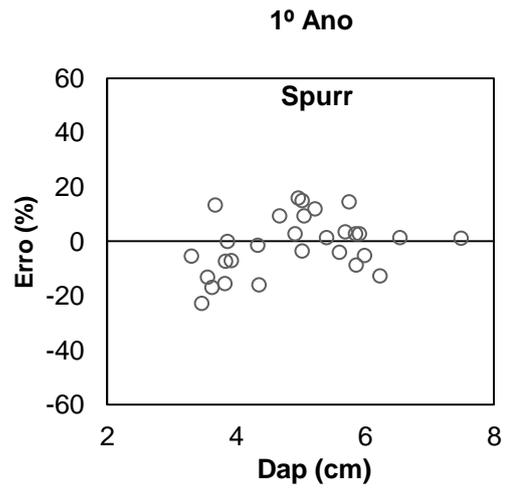
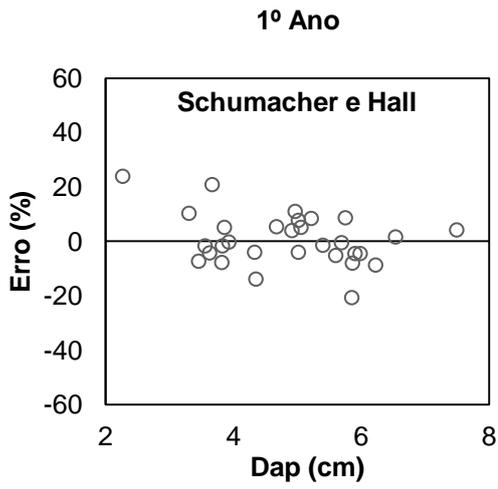
Em que: *O viés de modelos lineares, no caso Spurr, sempre possuirá o valor de zero (0), porém, devido ao uso de um menor número de casas decimais dos parâmetros estimados, este valor ficou próximo de zero.

Na Figura 13 são observadas as análises gráficas dos resíduos para os modelos avaliados nas diferentes idades e agrupando todas as idades. Nota-se que os modelos para as idades de um, dois e três anos não se ajustaram tão bem quanto comparado com os restantes das idades, demonstrando que para as menores idades os modelos produzem estimativas menos precisas. Estes resultados estão de acordo com as medidas de precisão apresentadas na Tabela 8, que indicam modelos menos precisos para estas idades.

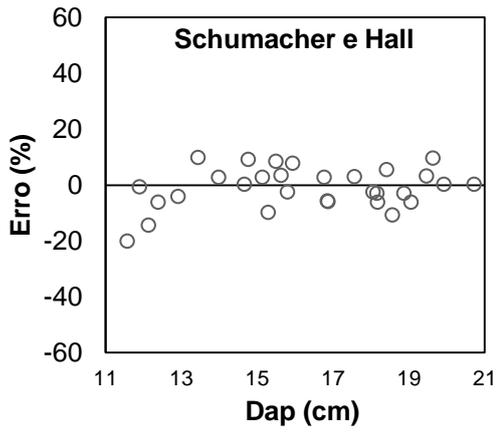
Percebe-se que na Figura 13 que o modelo de Spurr tem tendência em superestimar os volumes para menores valores de diâmetros. Já para o modelo de Schumacher & Hall verificou-se uma distribuição mais precisa.

Por meio das medidas de precisão da Tabela 8, os testes estatísticos complementares da Tabela 9, aliando-se a isso a análise gráfica dos resíduos (Figura 13) permite-se afirmar que o modelo de Schumacher & Hall foi o mais precisos para as idades avaliadas e para todas as idades (modelo geral). Com isso, este modelo pode ser uma opção apropriada para estimar o volume comercial do paricá, além dele possuir uma fundamentação teórica e ser tradicional no setor florestal.

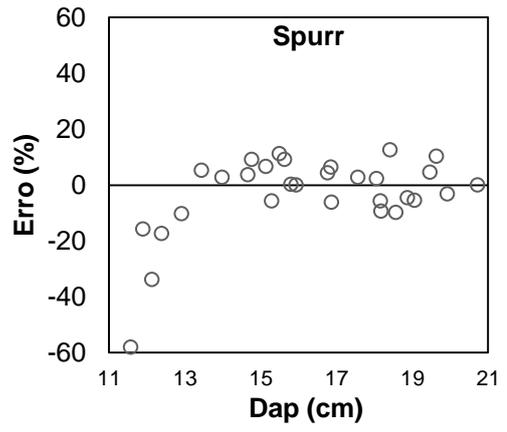
Quando se leva em conta o fato de que o diâmetro dos anéis foi medido em quatro direções, obtendo-se um valor médio, sendo estas medidas realizadas de forma direta, o mesmo ocorrendo com a altura, pode-se dizer que as equações ajustadas de fato produzem estimativas fidedignas do volume.



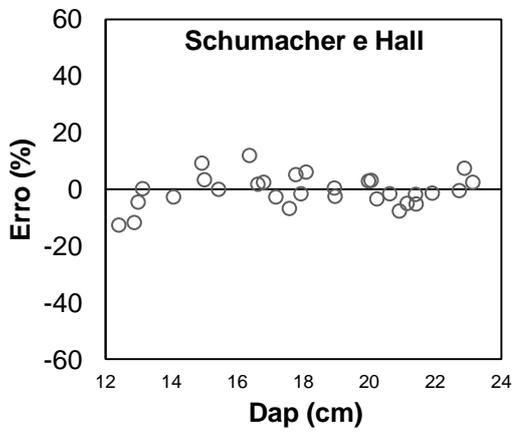
4º Ano



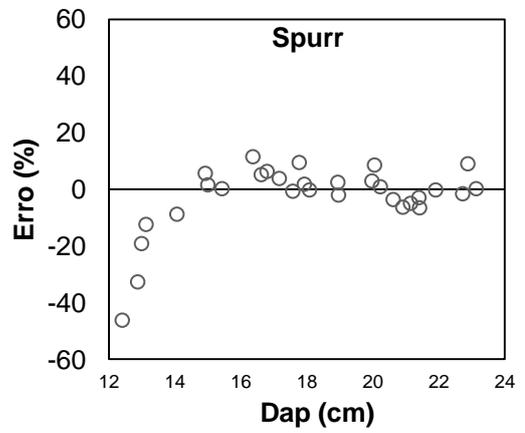
4º Ano



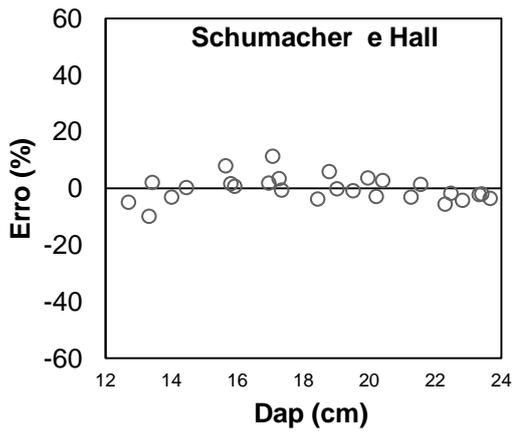
5º Ano



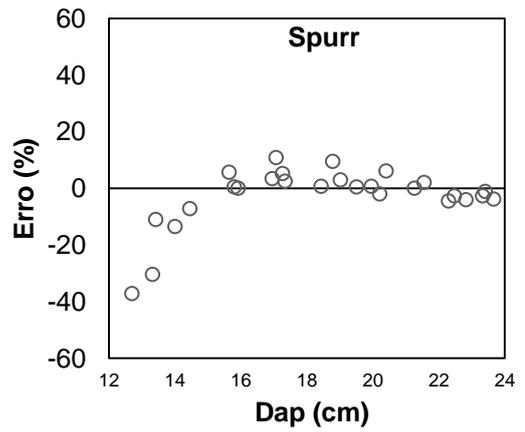
5º Ano



6º Ano



6º Ano



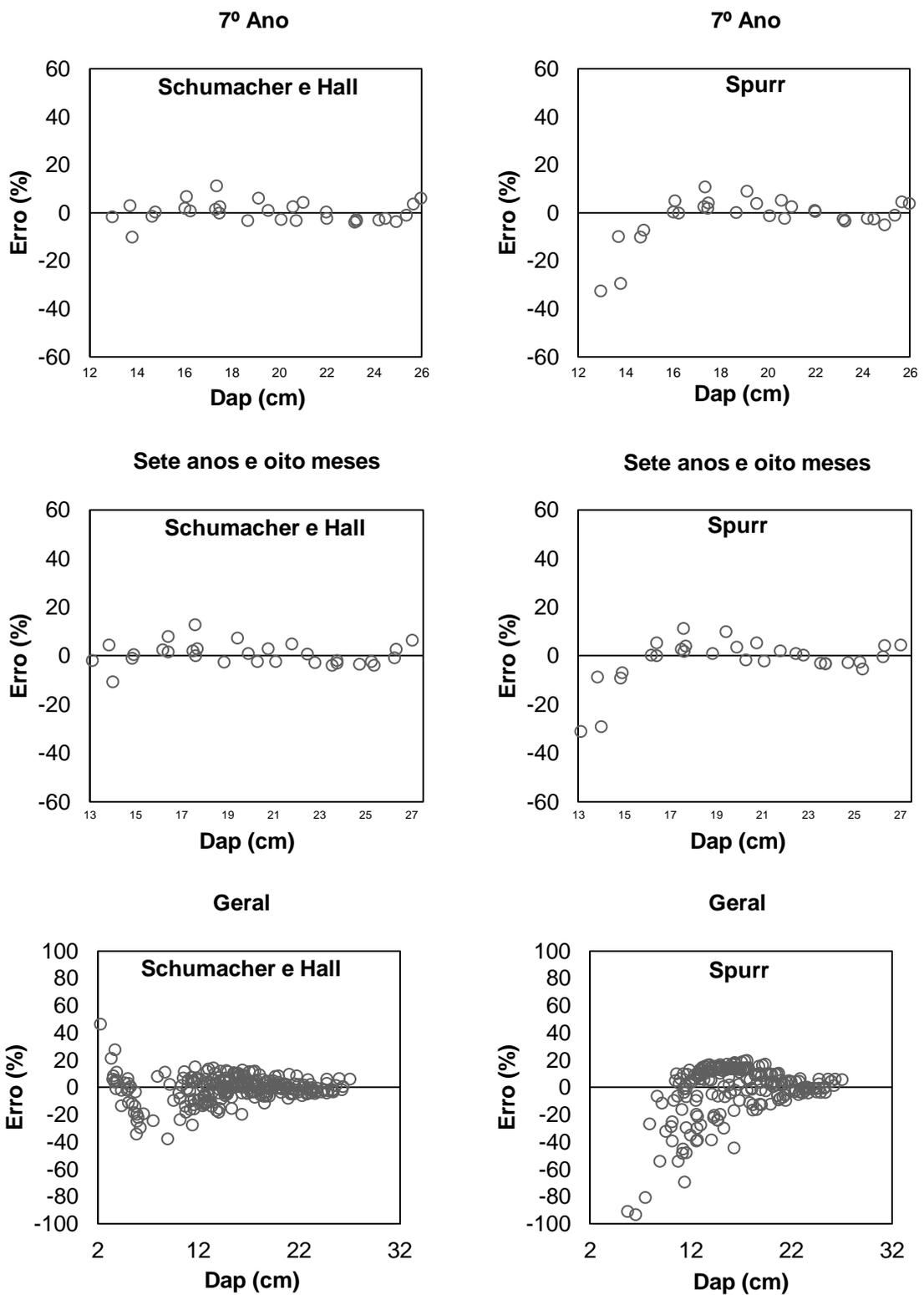


Figura 13. Resíduos percentuais em função do DAP para os modelos de volume avaliados, para todas as idades e agrupando todas as idades (modelo geral).

4.4.1. Avaliação do efeito da idade no volume comercial

Como o modelo de Schumacher & Hall obteve o resultado mais preciso nas diferentes idades avaliadas, houve a necessidade de aplicação do teste F para comparar semelhanças estatísticas entre os parâmetros conforme descrito na metodologia deste estudo.

Na Tabela 10 estão a soma de quadrados (SQR) e o número de graus de liberdade (nr) do resíduo da regressão dos modelos reduzidos e completos, e o resultado dos testes de hipóteses H_0^1 (parâmetros de todas as idades); H_0^2 (parâmetros do grupo de idades de um; dois e três anos) e H_0^3 (parâmetros do grupo de idades de quatro; cinco; seis; sete anos e sete anos e oito meses).

Tabela 10. Soma de Quadrados (SQR) e grau de liberdade (nr) do resíduo da regressão dos modelos reduzidos e completos, com os testes de hipótese pela estatística F .

$H_0^1: \beta_{01}=\dots=\beta_{08}=\beta_0; \beta_{11}=\dots=\beta_{18}=\beta_1; \beta_{21}=\dots=\beta_{28}=\beta_2; \beta_{31}=\dots=\beta_{38}=\beta_3$					
Modelo	SQR	nr	F_{cal}	$F_{tab5\%}(21; 216)$	Valor-p
Reduzido	0,0311	237	2,11	1,61	0,0042
Completo	0,0258	216			
$H_0^2: \beta_{01}=\dots=\beta_{03}=\beta_0; \beta_{11}=\dots=\beta_{13}=\beta_1; \beta_{21}=\dots=\beta_{23}=\beta_2; \beta_{31}=\dots=\beta_{33}=\beta_3$					
Modelo	SQR	nr	F_{cal}	$F_{tab5\%}(6; 81)$	Valor-p
Reduzido	0,00374	87	0,48	2,21	0,8214
Completo	0,00361	81			
$H_0^3: \beta_{04}=\dots=\beta_{08}=\beta_0; \beta_{14}=\dots=\beta_{18}=\beta_1; \beta_{24}=\dots=\beta_{28}=\beta_2; \beta_{34}=\dots=\beta_{38}=\beta_3$					
Modelo	SQR	nr	F_{cal}	$F_{tab5\%}(12; 135)$	Valor-p
Reduzido	0,0244	147	1,11	1,82	0,3570
Completo	0,0222	135			

Pela hipótese H_0^1 o teste F calculado foi maior que o tabelado ($p < 0,05$); pode-se dizer que as equações associadas aos modelos de Schumacher & Hall foram estatisticamente diferentes. Com isso rejeitou-se a hipótese H_0^1 , significando que a idade afeta a relação entre diâmetro e altura das árvores e conseqüentemente seu volume, quando se utiliza o modelo agrupando todas as idades (modelo geral).

Nas hipóteses H_0^2 e H_0^3 o teste F calculado foi menor que o tabelado ($p > 0,05$); expressando que a idade não afeta a relação entre o volume comercial, quando se emprega o modelo nos grupos de idades avaliados. Portanto, pode-se empregar a Equação 10 e 11 para estimar o volume comercial de paricá, quando se considera a hipótese H_0^2 (grupo de idades de um; dois e três anos) e H_0^3 (grupo de idades de quatro; cinco; seis; sete anos e sete anos e oito meses), respectivamente.

$$\text{Volume} = 0,00004Dap^{2,6810} \text{Alturacomercial}^{0,3692} \quad (10)$$

$$R^2_{\text{ajustado}} = 98,79\% \text{ e } S_{YX} = 10,26\%$$

$$\text{Volume} = 0,00007Dap^{2,2331} \text{Alturacomercial}^{0,6335} \quad (11)$$

$$R^2_{\text{ajustado}} = 99,35\% \text{ e } S_{YX} = 5,10\%$$

O fato de que a idade não afetou o volume comercial para os grupos de idade avaliados (H_0^2 e H_0^3), pode ser corroborado pelo comportamento dos perfis das árvores (Figura 12) serem semelhantes em cada grupo e pelos parâmetros estimados (Tabela 8) serem próximos um dos outros em cada grupo.

Hoffmann et al. (2011), verificaram pelo teste de identidade de modelo que para estimar o volume total de paricá deve-se utilizar uma equação para cada idade, quando empregou a hipótese de que os parâmetros das idades de cinco, seis e sete anos seriam iguais aos parâmetros agrupando estas idades. Este resultado foi contrário ao desta pesquisa, porém, os dados coletados dos autores acima citado foram coletados em plantios com três idades diferentes em um mesmo momento do tempo, onde o ideal seria que os dados fossem coletados em um mesmo plantio em momento diferentes do tempo, caso desta pesquisa.

4.5. AJUSTE DOS MODELOS DE AFILAMENTO

Com base na Tabela 11, pode-se notar que todos os parâmetros estimados apresentaram resultado significativo pelo teste t ($p < 0,05$), indicando a sua importância em explicar as variações ocorridas na variável resposta. Analisando as medidas de precisão, os modelos testados, tanto para o ajuste de diâmetro quanto para a altura, apresentam elevado coeficiente de determinação ajustado (superior a 90%). Observa-se que o erro padrão relativo para o ajuste da altura (27%) foi superior ao do diâmetro (5%). Este resultado também foi encontrado por Môra (2011), na qual trabalhando com a modelagem de afilamento de híbrido de *Eucalyptus* encontrou erros maiores para o ajuste de afilamento de altura. A causa dos elevados erros para o ajuste da altura ocorre pelo fato dessa variável ser difícil de ser estimada em alguns pontos, principalmente na parte basal do fuste.

Verificando as medidas de precisão para o ajuste de afilamento para o diâmetro, pode-se observar que praticamente não há diferença entre os coeficientes de determinação e erro padrão das estimativas dos dois modelos, o mesmo ocorre com o ajuste da altura. Assim, foi realizada análise gráfica dos resíduos e testes complementares buscando-se perceber a ocorrência de eventuais tendências.

Tabela 11. Parâmetros estimados e estatísticas de precisão para os modelos de afilamento avaliados

Ajuste em função do diâmetro							
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$S_{YX}(cm)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Demaerschalk	0,0870*	1,0170*	0,2127*	-0,3100*	0,89	5,43	94,56
Ormerod		0,2335*			0,99	6,05	93,26
Ajuste em função da altura							
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$S_{YX}(m)$	$S_{YX}(\%)$	$\bar{R}^2(\%)$
Demaerschalk	0,0862*	1,0076*	0,3077*	-0,3792*	1,27	27,55	90,66
Ormerod		0,3068*			1,29	27,94	90,39

Em que: *Significativo ao nível de 5% de significância pelo teste *t* de *student*.

Na Figura 14 percebe-se que os dois modelos apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que não existiu tendenciosidade nas estimativas do diâmetro a partir do diâmetro de 14 cm. Além disso, os erros calculados ficaram na sua grande maioria contidos em um intervalo de mais ou menos 30%. Observar uma pequena vantagem do modelo de Demaerschalk, pois apresentou erros variando em intervalos menores.

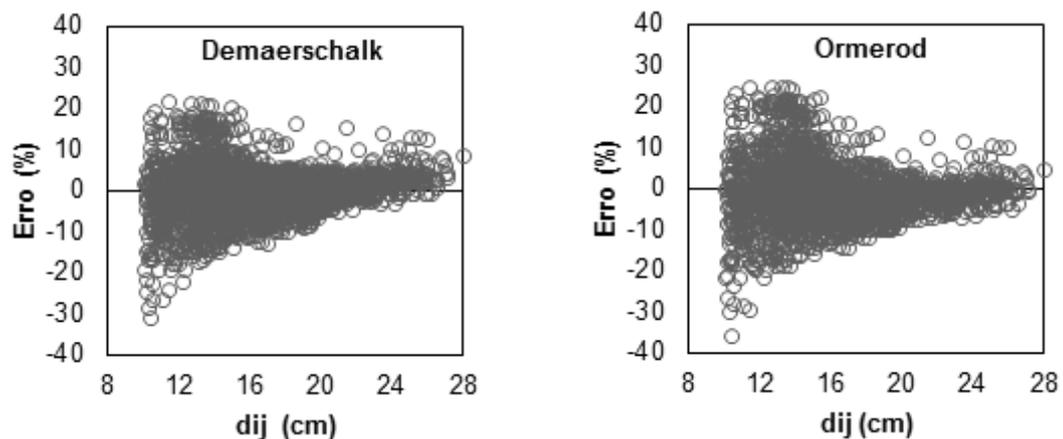


Figura 14. Distribuição dos resíduos dos modelos de afilamento avaliados para a expressão de diâmetro.

Loureiro et al. (2012) trabalhando com a avaliação de equações de afilamento de *Araucaria angustifolia* utilizando o diâmetro como variável dependente obteve valores de erro relativo de 8,40 e 9,11% para os modelos de Demaerschalk e Ormerod, respectivamente. Além, de verificar pela análise gráfica dos resíduos, uma amplitude maior de erro para o diâmetro de 0 a 12 cm. Resultados parecidos com o presente trabalho na qual se percebe uma distribuição de erros mais elevados entre o diâmetro de 10 a 12 cm (Figura 14).

Na Figura 15 nota-se que os modelos para estimar a altura possuem resultados semelhantes, com distribuição gráfica dos resíduos ora subestimando e ora superestimando, no entanto pode-se constatar uma tendência maior para subestimativa da altura ao longo do tronco.

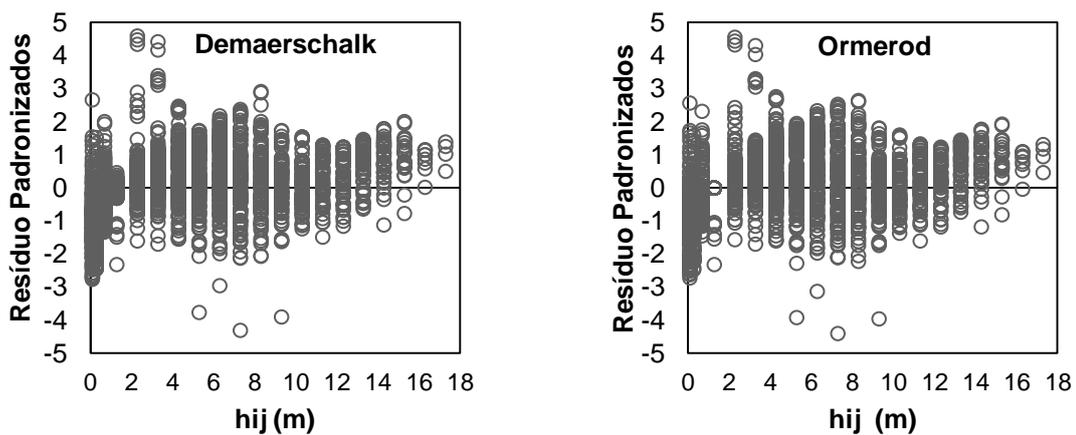


Figura 15. Distribuição dos resíduos dos modelos de afilamento avaliados para a expressão de altura.

Mendonça et al. (2007) avaliando modelos de afilamentos na estimação da altura de *Eucalyptus* sp. com diâmetro mínimo comercial de 7 cm, obteve que os modelos de Demaerschalk e Ormerod apresentaram resultados semelhantes, porém, com a tendência de subestimar a altura.

A Tabela 12 mostra os resultados das estatísticas e do *ranking* para os dois modelos avaliados nos diferentes ajustes. De acordo com o viés (*V*) para o ajuste do modelo de diâmetro e altura é possível perceber que o modelo de Demaerschalk, apresenta a ausência de tendência nas estimativas. Analisando os resultados do somatório das notas das estatísticas separadamente, nota-se que o modelo de Demaerschalk apresentou para o ajuste de diâmetro os melhores resultados para as estatísticas *V*, *MD* e *DPD*, demonstrando uma coerência com as estatísticas de precisão e a análise gráfica residual, ressaltando uma vantagem deste modelo em relação ao de Ormerod. Já para o ajuste da altura, o modelo de Ormerod proporcionou o melhor desempenho para o *MD*, enquanto que o modelo de Demaerschalk apresentou os melhores valores para *V* e *DPD*.

Tabela 12. Testes estatísticos complementares para os modelos de afilamento avaliados

Ajuste em função do diâmetro				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Demaerschalk	0,0093 (1)	0,8938 (1)	4,5002 (1)	3
Ormerod	-0,1538 (2)	0,9836 (2)	4,8659 (2)	6
Ajuste em função da altura				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Demaerschalk	0,0666 (1)	1,2766 (1)	0,9578 (2)	4
Ormerod	0,1419 (2)	1,2888 (2)	0,9549 (1)	5

4.6. AJUSTES DO FATOR DE FORMA COMERCIAL MÉDIO

As estimativas dos parâmetros e as medidas de precisão para os dois modelos testados para o ajuste de fator de forma comercial médio são apresentados na Tabela 13. Analisando as medidas de precisão verifica-se um grau de ajuste mais acurado para o modelo Logístico.

Tabela 13. Parâmetros estatísticos das equações testadas para estimar o fator de forma comercial médio, em função da idade.

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	S_{YX}	S_{YX}(%)	$\bar{R}^2(\%)$
Exponencial	-0,2230*	-0,3113*		0,0258	3,57	84,37
Logístico	0,7873*	0,5175*	0,4986*	0,0178	2,46	92,57

Em que: *Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t* de *student*.

As estatísticas complementares da Tabela 14 foram calculadas para auxiliar na escolha do melhor modelo. Com isso, verificou-se que o modelo Logístico se sobressaiu sobre o modelo Exponencial, com os melhores valores de *V*, *DPD* e *MD*.

Tabela 14. Testes estatísticos complementares para o fator de forma comercial médio, em função da idade

Modelos	V	DPD	MD	Total
Exponencial	$5,48 \times 10^{-5}$ (2)	0,0258 (2)	0,0140 (2)	6
Logístico	$1,52 \times 10^{-5}$ (1)	0,0177 (1)	0,0100 (1)	3

Analisando o fator de forma comercial médio observado e ajustado pelo modelo Logístico (Figura 16) percebe-se que os maiores valores de fator de forma comercial médio estão diretamente relacionados com o maior valor do diâmetro a altura do peito, tendendo estabilizar a partir da idade de seis anos.

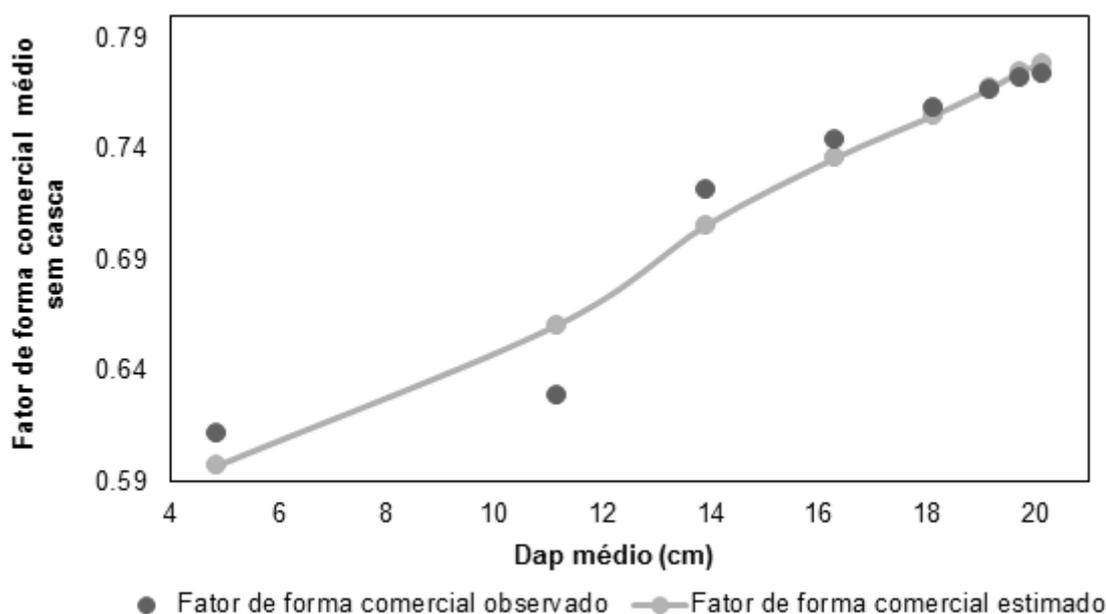


Figura 16. Fator de forma comercial médio observado e estimado pelo modelo Logístico.

Tonini et al. (2005) analisando o fator de forma comercial com casca da espécie *Schizolobium amazonicum* encontrou valores decrescente com o aumento do diâmetro. Já Hoffmann (2009) estudando a mesma espécie obteve fatores de forma artificial médio de 0,47 e 0,51 para diâmetros médio de 19,15 cm e 21,28 cm, respectivamente, valores estes inferiores ao desta pesquisa por não se tratar do fator de forma comercial, porém crescente com o aumento do diâmetro.

Valores crescentes de fator de forma em relação ao diâmetro também foram encontrados por Durlo e Denardi (1998) para *Cabralea canjerana*, por Spathelf et al. (2001) para *Ilex brevicuspis*, *Erythoxylum deciduum*, *Cytherexylum montevidense* e *Rapanea ferruginea*. Tonini et al. (2003) encontram valores de fator de forma variando entre 0,36 e 0,88 para diâmetros entre 2,1 cm e 32 cm, respectivamente, para *Nectandra megapotamica*.

Pensando no manejo da floresta de paricá no sentido de maximizar o rendimento em lâminas para a produção de compensados, Hoffmann (2009), chegou à conclusão que em maiores idades e diâmetros há o aumento do rendimento em laminação. Confrontando os resultados da pesquisa de Hoffmann (2009) com este trabalho, verifica-se que o fator de forma comercial maior nos diâmetros e idades superiores, favorece o aumento do rendimento, ou seja, a conicidade da árvore, tende a ser menor nas idades mais adultas e diâmetros elevados, aumentando o rendimento em laminação dessa espécie.

4.7. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PREDIÇÃO

De maneira geral, os dois modelos ajustados apresentaram desempenho semelhante em estimar o crescimento em *DAP* nas diferentes idades. Porém, de acordo com as estatísticas de precisão (Tabela 15), dentre os modelos testados, o modelo Exponencial foi o que apresentou melhor desempenho, sendo ligeiramente mais preciso que o modelo Logístico.

Tabela 15. Estimativas dos parâmetros e estatísticas de precisão dos modelos de crescimento em diâmetro em função da idade

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	S_{YX}(cm)	S_{YX}(%)	\bar{R}^2(%)
Exponencial	3,2194*	-1,6641*		2,96	19,21	73,59
Logístico	19,8227*	5,7328*	0,8709*	3,02	19,63	72,42

Em que: *Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t* de *student*.

Em termos do erro padrão residual relativo ($S_{yx}\%$), os valores encontrados são considerados altos, significando que as variações diamétrica em cada idade são grandes, pelo fato de se tratar de uma espécie sem nenhum tipo de melhoramento e seleção genética. Como o erro padrão residual relativo está diretamente ligado à diferença dos valores observados e estimados, os modelos de crescimento em diâmetro estimados em função de apenas uma variável (idade) são difíceis de ser ajustado, com valores de erro baixo.

Martins (2012), trabalhando com o crescimento em diâmetro de dez espécies florestais nativas em plantios homogêneos, obteve erro padrão relativo na ordem de 16,49 a 31,27% para o modelo Exponencial e 16,49 a 30,86% para o modelo Logístico, resultados coerentes quando comparado com o desta pesquisa. Contudo, selecionou o modelo Logístico para explicar o crescimento em diâmetro das nove entre as dez espécies estudadas, pois o modelo Exponencial teve a característica de subestimar os valores de diâmetro para as menores idades.

Por meio do ranking apresentado na Tabela 16, observa-se que o modelo Exponencial possui o melhor desempenho para a estimação do crescimento em diâmetro ao longo da idade, quando comparado com o modelo Logístico.

Tabela 16. Testes estatísticos complementares para os modelos de crescimento em diâmetro em função da idade

Modelos	Viés	DPD	MD	Total
Exponencial	0,006605 (1)	2,9603 (1)	2,3388 (1)	3
Logístico	-0,02506 (2)	3,0252 (2)	2,4299 (2)	6

Ratifica-se na Figura 17 que o modelo Exponencial foi o mais adequado, proporcionando uma melhor distribuição dos erros ao longo da idade e que o modelo Logístico na idade de um e dois anos teve a característica de superestimar e subestimar, respectivamente, os valores de diâmetro.

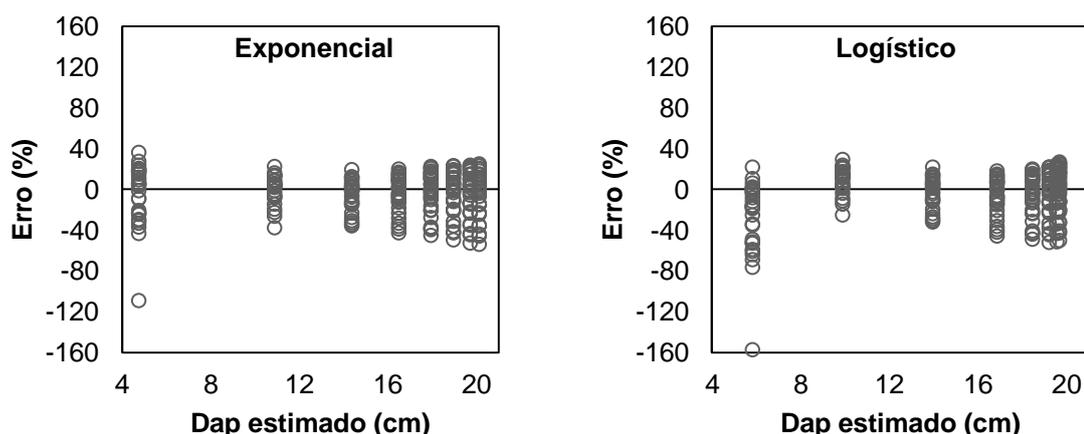


Figura 17. Distribuição dos resíduos para os modelos de crescimento em diâmetro em função da idade

4.8. AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NA ESTRUTURA DE PROJEÇÃO

De acordo com a Tabela 17, as equações referentes aos dois modelos avaliados para o crescimento em diâmetro na estrutura de projeção, apresentaram valores bem próximos uns aos outros, considerando as estatísticas avaliadas.

Tabela 17. Estimativas dos parâmetros e estatísticas de precisão dos modelos de crescimento em diâmetro na estrutura de projeção

Crescimento em Diâmetro					
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	S_{YX} (cm)	S_{YX} (%)	\bar{R}^2 (%)
Linear	0,7751*	-11,3324*	0,84	5,02	96,28
Pienaar e Schiver	1,6172*	-0,9648*	0,94	5,60	95,37

Em que: *Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t* de *student*.

Martins (2011) encontrou estimativas semelhantes ao $R^2_{ajustado}$ (98,18%) e S_{YX} (3,69%) para o modelo Piennar & Schiver na classe de produtividade média para o ajuste de crescimento em diâmetro para o gênero *Eucalyptus*. Já para o modelo Linear utilizando além da idade, o índice de área basal e o índice local obteve valores de $R^2_{ajustado}$ (98,00%) e S_{YX} (3,71%), resultados também parecidos com desta pesquisa.

Os resíduos percentuais para o crescimento em diâmetro (Figura 18) demonstrou tendência bem distribuída para o modelo Linear. Já o modelo de Piennar & Schiver apresentou tendência na distribuição dos resíduos, no sentido de subestimar as árvores de menor diâmetro.

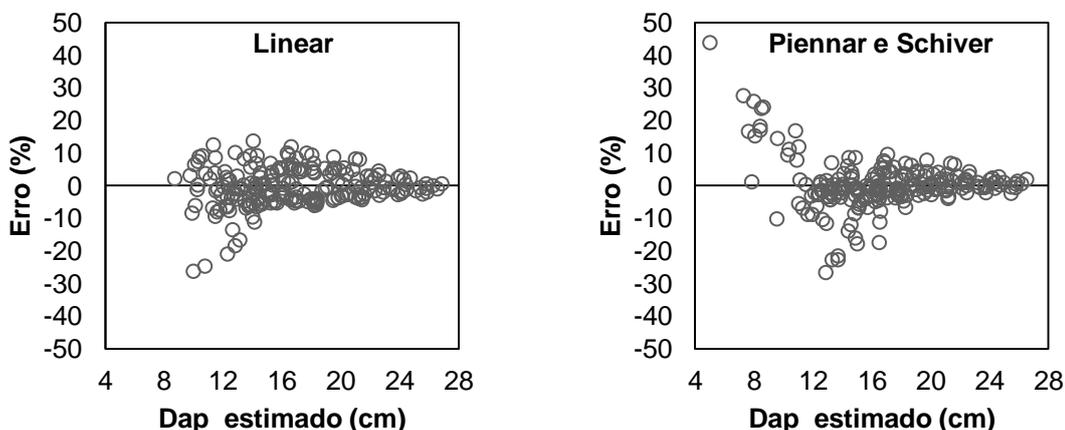


Figura 18. Distribuição dos resíduos percentuais das equações referentes ao modelos de crescimento em diâmetro na estrutura de projeção em função dos diâmetro estimados.

Os testes estatísticos complementares da Tabela 18 foram calculados para auxiliar na escolha do melhor modelo. Com isso, verificou-se que o modelo Linear se sobressaiu sobre o modelo Piennar & Schiver, com os melhores valores de V , DPD e MD .

O ajuste de crescimento em diâmetro na estrutura de projeção proporcionou resultados mais acurados quando comparado com o crescimento em diâmetro na forma de predição.

Tabela 18. Testes estatísticos complementares para os modelos de crescimento em diâmetro na estrutura de projeção

Crescimento em Diâmetro				
Modelos	V	DPD	MD	Total
Linear	$-3,6 \times 10^{-5}$ (1)	0,8494 (1)	4,4368 (1)	3
Piennar e Schiver	0,0588 (2)	0,9469 (2)	4,7108 (2)	6

Analisando o comportamento do crescimento e produção em diâmetro por meio do modelo Linear e Pienaar & Schiver (Figura 19 e 20) pode-se perceber que a assíntota horizontal da curva de produção obteve o valor máximo de diâmetro há aproximadamente 20 cm. Pelo comportamento do modelo Linear a curva de produção tende-se a ser crescente com o passar do tempo. Já o modelo de Pienaar & Schiver obteve-se uma curva de produção que se aproxima assintoticamente do valor final do diâmetro com o decorrer do tempo.

Observa-se que no modelo Linear e Pienaar & Schiver (Figura 19 e 20) os maiores valores de ICA e IMA em diâmetro ocorreram na idade de dois anos e vão diminuindo suavemente. A maior taxa de crescimento em diâmetro na idade de dois anos, também é observada na série *master* da largura dos anéis de crescimento (Figura 10), corroborando o preciso ajuste destes modelos.

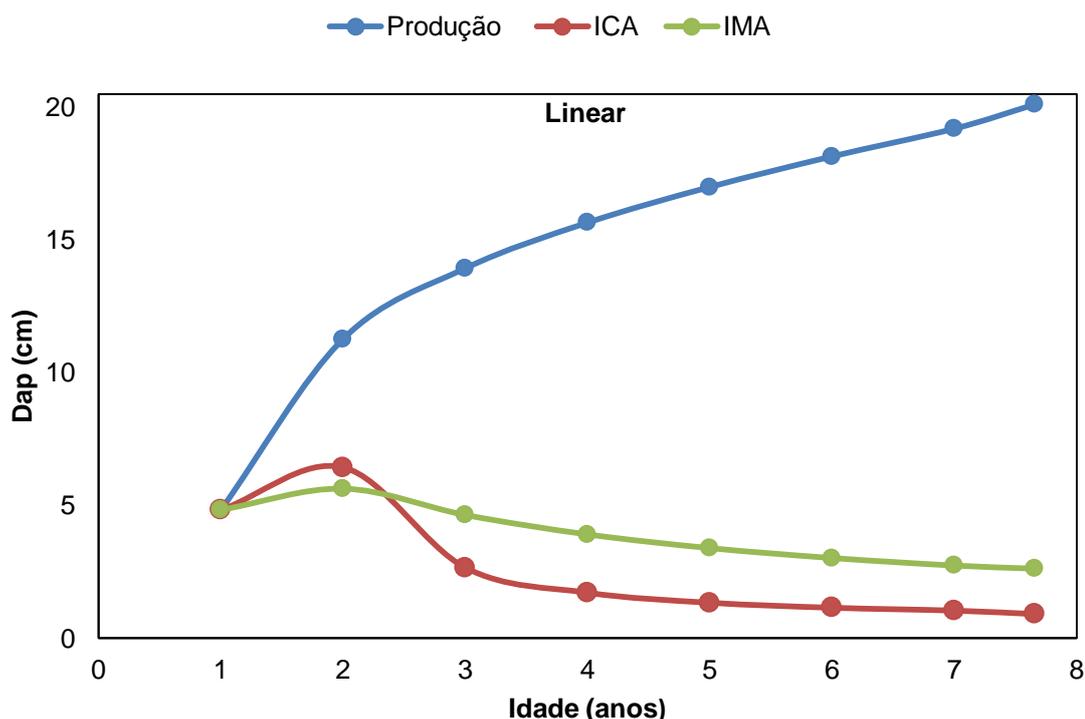


Figura 19. Curva de produção em diâmetro, curva de incremento corrente anual em diâmetro (ICA) e curva de incremento médio anual em diâmetro (IMA) por meio do modelo Linear.

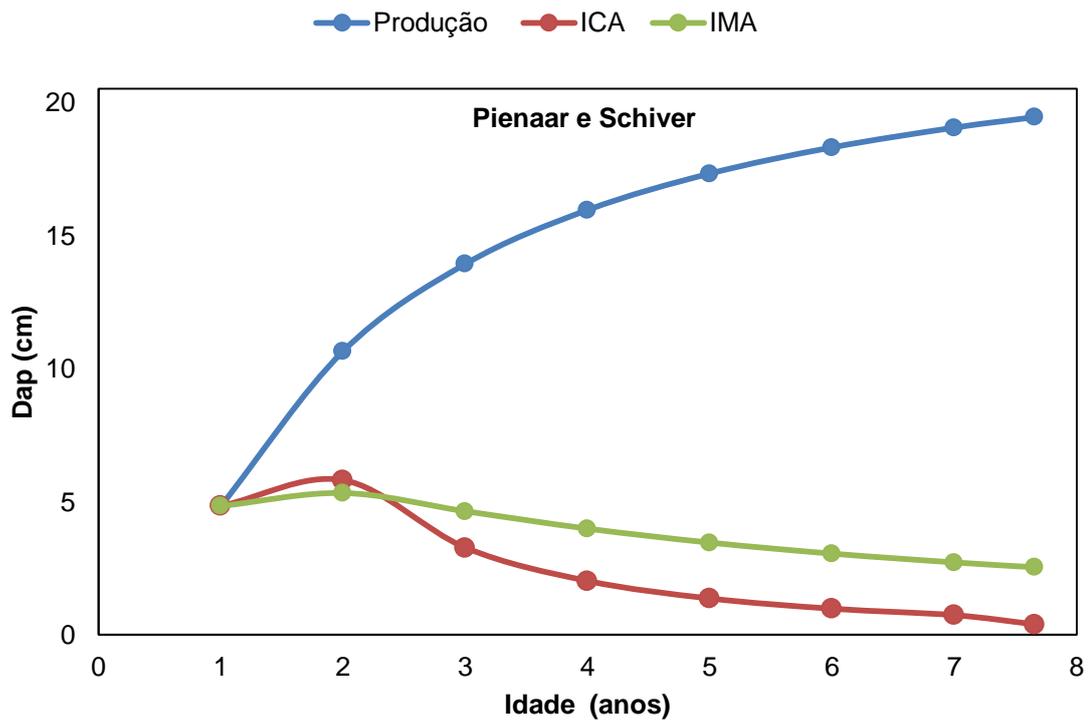


Figura 20. Curva de produção em diâmetro, curva de incremento corrente anual em diâmetro (ICA) e curva de incremento médio anual em diâmetro (IMA) por meio do modelo Pienaar e Schiver.

5. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados a pesquisa permitiu apresentar as seguintes conclusões:

- A análise do tronco completa é uma ferramenta acurada e importante, pois permite recompor o crescimento de forma rápida, precisa e segura.
- A anatomia do lenho de paricá, por meio da análise dos anéis de crescimento, permitiu a demarcação e determinação da idade prevista de sete anos, possuindo camada de crescimento demarcada por zona fibrosa.
- A dendrocronologia, por meio da sincronização, possibilitou a identificação de anéis falsos e a construção de série *master* dos anéis de crescimento do paricá.
- O modelo de Schumacher & Hall é a melhor alternativa para estimar o volume comercial do paricá. Pelo teste de identidade de modelo é observado que há o efeito da idade no volume comercial quando se considera todas as idades (H_0^1), entretanto, ao analisar grupos de idades (H_0^2 e H_0^3), a idade não afeta o volume comercial.
- Para o ajuste de afilamento em diâmetro o modelo Demaerschalk é o que obteve resultado mais preciso. Em relação à estimativa de altura os modelos de Demaerschalk e Ormerod indicaram resultados semelhantes.
- O modelo Logístico é o mais apropriado para explicar o fator de forma comercial médio.
- Para explicar o crescimento em diâmetro na forma de predição o modelo Exponencial é o mais preciso para estimar o diâmetro das árvores de paricá. Já para estimar o diâmetro na estrutura de projeção o modelo Linear é o mais acurado.

6. RECOMENDAÇÕES

Como recomendações são apresentadas sugestões para futuras pesquisas em dendrocronologia e análise do tronco, fundamentadas nas metodologias aplicadas e os resultados obtidos no presente estudo. São elas:

- Aplicação da densitometria de raio-X para caracterizar os limites dos anéis de crescimento desta espécie, por meio do perfil radial da densidade intra e inter-anéis de crescimento;
- Averiguação de possíveis correlações entre o crescimento em diâmetro com variáveis climáticas;
- Avaliação da atividade cambial e da fenologia das árvores visando uma maior compreensão da periodicidade da formação dos anéis de crescimento desta espécie;
- Emprego de diâmetro mínimo menores para fazer o uso da altura total;
- Retirar discos nas posições 0,1; 1,3 m e a partir daí de dois em dois metros.
- Comparação e análise econômica da técnica de análise do tronco com o inventário florestal contínuo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. C. R. et al. Modelagem par prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.61, p.86-102, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **HidroWeb**: sistema de informações hidrológicas. 2013. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 21 maio 2013.

ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru**. 2009. 129f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 506 p., 1970.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico 2012: ano base 2011**. Brasília, DF: ABRAF, 149 p. 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação. **Embrapa Florestas**, Colombo, n. 75, p. 1-25, 2002.

BRIENE, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in the tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 256 – 267, 2006.

CALLADO, C. H.; GUIMARÃES, R. C. Estudo dos anéis de crescimento de *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinideae) após episódio de mortalidade em Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 85 – 91, 2010.

CAMPOS, J.C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Viçosa: UFV, 548p., 2009.

CHAGAS, M. P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP**. 2009. 113f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

COMMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **Descripcion de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**. Santiago, v. 30, p. 1 – 19, 1974.

- CORDEIRO, I. M. C. C. **Comportamento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L.B. Smith) Coppens Leal sob diferentes sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará (PA).** 2007. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.
- COSTA, D. H. M. et al. **Alguns aspectos silviculturais sobre o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber).** Belém: Banco da Amazônia, 19p., 1998. (Série Rural 2).
- CUNHA, T. C. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odatata* L. na floresta amazônica.** 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n. 1, p. 55 – 66, 1998.
- ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores.** Brasília: Comunicações Técnicas Florestais, v.7, n.1, 2005.
- FERREIRA, M. Z.; SCOLFORO, J. S. S. Métodos para estimativa da altura por meio da análise de tronco. In: SCOLFORO, J. R. S. (Org.). **Biometria Florestal: modelos de crescimento e produção florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p 63 – 80.
- FINGER et al. Crescimento diamétrico do pau-ferro (*Astronium balansae*) em reflorestamento no município de São Sepé, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 101 – 108, 1996.
- GONÇALVES, G. V. **Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade.** Évora: CIDEHUS/Universidade de Évora, 16p., 2007.
- HOFFMANN, R. G. **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA.** 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2009.
- HOFFMANN, R. G. et al. Caracterização dendrométrica de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n.4, p. 675 – 684, 2011.
- HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW, J. A. **Forest mensuration.** 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 443p., 2003.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS WOOD – IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Utrecht, v. 10, n. 3, p. 219 – 232, 1989.

KARIUKI, M. Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. **Journal of Forestry**, Oxford, v. 75, n. 1, p. 63 – 67. 2002.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de *Cedrella odorata* L., *Cedrella fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil.** 2011. 215f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

LOBÃO, M. S. et al. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 374 – 384, 2012.

LOUREIRO, G. H. et al. Avaliação de equações de afilamento em um plantio de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze utilizando o diâmetro como variável dependente. In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2012.

MAROCHI, C. I. **Anéis anuais de crescimento do cedro (*Cedrela fissilis* – Meliaceae) aplicados à avaliação de taxa de crescimento e dendroclimatologia.** 2007. 124f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MARQUES, T. C. L.; YARED, G. A. J.; SIVIERO, A. M. **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 5p., 2006. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 158).

MARTINS, F. B. **Modelagem de crescimento em nível de árvore individual para plantios comerciais.** 2011. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MARTINS, L. T. **Caracterização dendrométrica e crescimento de dez espécies florestais nativas em plantios homogêneos no estado do Espírito Santo.** 2012. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

MATTOS et al. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 319 – 326, 2010.

MATTOS, P. P. **Identificação de anéis anuais de crescimento e estimativa**

de idade e incremento anual em diâmetro de espécies nativas do pantanal da Nhecolândia, MS. 1999. 116f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

MATTOS, P. P; BRAZ, E. M; HESS, A. F; SALIS, S. M. A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais. **Embrapa Florestas**, Colombo, n. 218, p. 1 – 35, 2011.

MENDONÇA, A. R. et al. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, Lavras, v. 13, n.1, p. 71 – 82, 2007.

MÔRA, R. **Influência da forma de ajuste e do comportamento das seções no desempenho de funções de afilamento.** 2011. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

R CORE TEAM. **R. A language and environment for statistical computing.** R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria, 2012.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de matemática e estatística**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 33 – 45, 2004.

RIBEIRO, M. S. **Manejo de sistemas agroflorestais com paricá (*Schizolobium amazonicum* huber) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp.) em área de vegetação secundária, em Bragança – Pará .** 2006. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

RODRIGUES et al. **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 51p., 2003. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 162).

RODRIGUES, E. F. et al. Um método para determinar o volume comercial do *Schizolobium amazonicum* Huber Ducke utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 16 – 23, 2010.

ROIG, F. A. **Dendrocronología em América Latina.** Mendoza: EDIUNC, 431p., 2000.

SANTOS, E. M. **Crescimento e produção de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) sob diferentes espaçamentos.** 2012. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria***

angustifolia (Bert.) O. Ktze. 2006. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree rings: basics and applications of dendrochronology.** Dordrecht: Reidel, 276p. 1988.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 393p., 2006. (Textos acadêmicos).

SILVA JÚNIOR, A. T. **Equações de volume e fator de forma para árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá) no município de Aurora do Pará.** 2009. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

SIVIERO, M. A. Paricá: a vedete do reflorestamento. **Diário do Pará.** Belém, 27 jan. 2006. Regional, p. A-8. Entrevista. Disponível em: <http://sib.iesampa.edu.br/downloads/hemeroteca/ciencias_agrarias/ENF/ENF0474.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2012.

SPATHELF, P. et al. Crescimento de espécies nativas de uma floresta estacional decidual/ombrófila mista do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n. 2, p. 103 – 119, 2001.

TOMAZELLO FILHO et al. Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 46 – 55, 2004.

TONINI, H. et al. **Seleção de equações para o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), no Estado de Roraima.** Boa Vista: Embrapa Roraima. 2005. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 4).

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. O crescimento da *Nectandra megapotamica* Mez., em floresta nativa na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 85 – 90, 2003.

VIDAURRE, et al. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, p. 365 – 371, 2012.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica.** 2010. 74f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

VIDAURRE, G. B. et al. Paricá uma espécie promissora. **Revista da madeira.** n. 97. 2006.

APÊNDICE

Este apêndice tem como objetivo o detalhamento da análise completa do tronco de uma árvore de quatro anos de idade com altura total de 5,8 metros.

1º Passo: Medição dos raios dos anéis ao longo do fuste.

Na Figura 21 é esquematizado os discos da árvore nas posições de 0,1; 1,3; 3,3; 5,3 metros com os seus respectivos raios e idade. A Tabela 19 apresenta a medidas dos quatros raios dos anéis em diferentes posições.

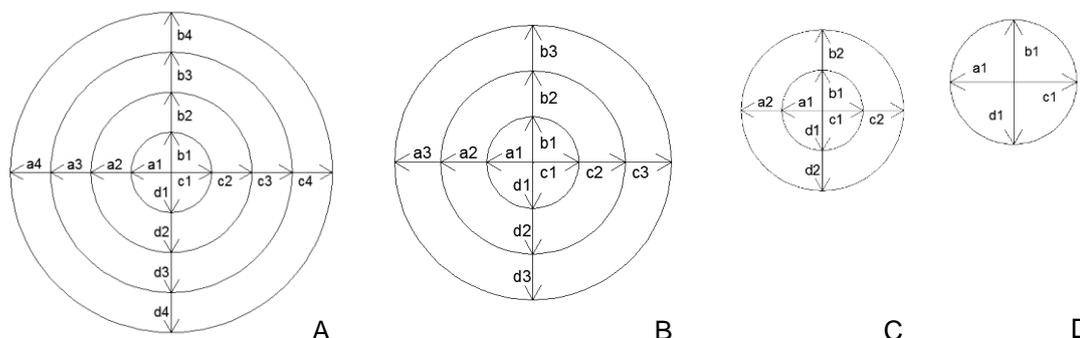


Figura 21. Esquema da delimitação da largura dos anéis de quatros raios (a, b, c e d). A: 0,1 m – 4 anos; B: 1,3 m – 3 anos; C: 3,3 m – 2 anos e D: 5,3 m – 1 ano.

Tabela 19. Medidas dos quatros raios dos anéis e sua média (cm) nas diferentes seções (m)

Posição	Raios	Anel 1	Anel 2	Anel 3	Anel 4	Posição	Raios	Anel 1	Anel 2
0,1	a	2,4	1,2	0,6	0,3	3,3	a	1	0,3
	b	2,5	1,4	0,7	0,4		b	1	0,2
	c	2,2	1,5	0,8	0,5		c	0,8	0,2
	d	2,4	1,4	0,8	0,5		d	0,2	0,3
Média Raios		2,375	1,375	0,725	0,425	Média Raios		0,75	0,25
1,3	a	1,6	0,8	0,4		5,3	a	0,2	
	b	1,7	0,9	0,5			b	0,2	
	c	1,4	0,9	0,3			c	0,3	
	d	1,5	0,8	0,2			d	0,2	
Média Raios		1,55	0,85	0,35		Médias Raios		0,225	

2º Passo: Determinar o diâmetro médio dos anéis nas diferentes posições.

Na Tabela 20 é apresentado o quadro do diâmetro médio ($D_{médio} = 2 \times R_{médio}$) dos anéis nas diferentes seção.

Tabela 20. Diâmetro médio dos anéis nas diferentes alturas de seção

Altura da seção (m)	Diâmetro médio (cm)			
	Anel 1	Anel 2	Anel 3	Anel 4
0,1	4,75	2,75	1,45	0,85
1,3	3,10	1,70	0,70	
3,3	1,50	0,50		
5,3	0,45			

3º Passo: Determinar a área basal dos anéis nas diferentes posições.

Na Tabela 21 observa-se a área basal $\{g = \pi D^2 / 40000\}$ dos anéis nas diferentes posições.

Tabela 21. Área Basal dos anéis nas diferentes alturas de seção

Altura da seção (m)	Área basal (m²)			
	Anel 1	Anel 2	Anel 3	Anel 4
0,1	0,00177205	0,00059396	0,00016513	0,00005675
1,3	0,00075477	0,00022698	0,00003848	
3,3	0,00017671	0,00001963		
5,3	0,00001590			

4º Passo: Determinar a altura nas diferentes idades (Método TARG).

Para calcular a altura nas diferentes idades, por meio da análise de tronco, pelo método TARG, primeiro é necessário determinar o número de anéis internos (anéis mais internos de um disco, que não estão presentes no disco imediatamente superior). Após a determinação dos anel interno (k) em cada seção, é determinado o raio acumulado do anel interno (w_k), o raio acumulado do anel interno mais um (w_{k+1}) e o raio do j -ésimo anel de crescimento (w_j), em cada seção (Figura 6).

Na Tabela 22 é apresentado o números de anéis internos (k), raio acumulados do anel interno (w_k), raio acumulado do anel interno mais um (w_{k+1})

e o raio do j-ésimo anel de crescimento (w_j), em cada seção da árvore exemplo. Pode-se afirmar que quando o k é igual ao 1, o w_k é igual ao w_j .

Tabela 22. Números de anéis internos (k), raios acumulados do anel interno (w_k), raio acumulado do anel interno mais um (w_{k+1}) e o raio do j-ésimo anel de crescimento (w_j), em cada seção

Altura da seção (m)	Nº Anéis	k	w_k	w_{k+1}	w_j
0,1	4	1	0,425	0,725	0,425
1,3	3	1	0,350	0,850	0,350
3,3	2	1	0,250	0,750	0,250
5,3	1	1	0,225		0,225

Pelo princípios do método TARG, desenvolvido por Kariuki (2002), a altura em cada idade é desenvolvida pelas Equações (1, 2 e 3).

$$x = L \left(\frac{w_{k+1} - w_k}{w_{k+1}} \right) \quad (1)$$

$$\Delta L = \frac{w_j(L - x)}{w_k} \quad (2)$$

$$H_{ij} = h_i + \Delta L \quad (3)$$

A Tabela 23 expõe o cálculo da altura nas diferentes idades utilizando o método TARG.

Tabela 23. Altura nas diferentes idades pelo método TARG

Altura da seção (m)	Idade	x	ΔL	H_{ij}
0,1	1	0,4966	0,703	0,80
1,3	2	1,1765	0,824	2,12
3,3	3	1,3333	0,667	3,97
5,3	4	0	0,500	5,80

5º Passo: Determinar o volume nas diferentes idades

Para determinar o volume nas diferentes idades (Equação 6), calculou-se o volume pelo método de Smalian (Equação 4) e o volume da ponta da árvore no último anel de cada seção (Equação 5).

$$V_{SEÇÃO} = \frac{(g_i + g_{i+1})}{2} \times L \quad (4)$$

$$V_{PONTA} = \frac{1}{3} \times (g_n \times c_p) \quad (5)$$

$$V_{TOTAL POR IDADE} = \sum V_{SEÇÃO} + V_{PONTA} \quad (6)$$

Em que:

g_i = Área basal da seção i ;

g_{i+1} = Área basal da seção $i+1$;

g_n = Área basal do último anel de cada seção;

c_p = Comprimento da ponta ($H_{ij} - h_i$);

Na Tabela 24 observa-se o volume de cada seção por anel e o volume total por idade.

Tabela 24. Volume de cada seção por anel e o volume total por idade

Altura da seção (m)	Volume (m³)			
	Anel 1	Anel 2	Anel 3	Anel 4
0,1	0,00151609	0,00049256	0,00012217	0,00001331
1,3	0,00093148	0,00024662	0,00001056	
3,3	0,00019262	0,00000436		
5,3	0,00000265			
Idade	4	3	2	1
Volume por idade (m³)	0,00264285	0,00074354	0,00013273	0,00001331

6º Passo: Construção do perfil da árvore.

Para a construção do perfil da árvore pela análise do tronco, foi necessário os dados de raio médio em cada seção, altura das seção e a altura total da árvore nas diferentes idades. A Figura 22 ilustra o perfil da árvore exemplo.

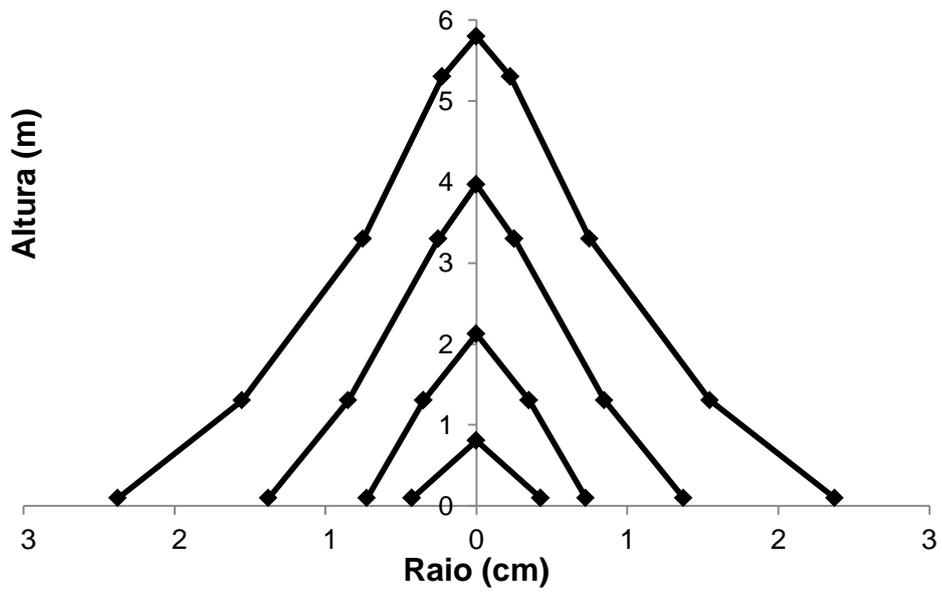


Figura 22. Perfil da árvore.