

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA MADEIRA PARA LAMINAÇÃO  
DE *Pinus taeda* L. EM DIFERENTES SÍTIOS FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BÁRBARA DALGALLO

IRATI – PR

2014

BÁRBARA DALGALLO

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA MADEIRA PARA LAMINAÇÃO DE *Pinus taeda*  
L. EM DIFERENTES SÍTIOS FLORESTAIS

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual do Centro-  
oeste, como parte dos requisitos do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Florestais, área de  
concentração em Manejo Florestal,  
para obtenção do título de Mestre

Profª Dr. Andrea Nogueira Dias

Orientadora

Prof. Dr. Éverton Hillig

Co-orientador

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Co-orientador

IRATI,

2014

## FICHA CATALOGRÁFICA



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

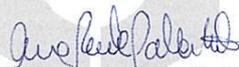
## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

### PARECER

Defesa Nº 54

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir a mestrand **Bárbara Dalgallo** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "Produção e qualidade da madeira para laminação de *Pinus taeda* L. em diferentes sítios florestais", é de parecer favorável à APROVAÇÃO da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 28 de agosto de 2013.



*Dr.ª Ana Paula Dalla Corte*  
Universidade Federal do Paraná  
Primeira Examinadora



*Dr. José Guilherme Prata*  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo Examinador



*Dr.ª Andrea Nogueira Dias*  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

*Campus Santa Cruz:* Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR  
*Campus CEDETEG:* Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR  
*Campus de Irati:* PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

Aos meus pais, Acyr e Lêda e ao meu irmão André, pelo amor e confiança que sempre depositaram em mim.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre me dar força para prosseguir e iluminar meu caminho nessa longa jornada.

Aos meus pais, Lêda e Acyr, por sempre acreditarem em mim e apoiado em todas as decisões tomadas nessa trajetória.

Ao meu irmão André por me amparar em momentos em que tudo parecia ir mal.

Aos professores Andrea Nogueira Dias, Éverton Hillig e Afonso Figueiredo Filho pela orientação no Mestrado, por todas as contribuições para este trabalho, pela imensa dedicação e paciência, além do exemplo como profissionais o qual vou levar ao longo de minha carreira. Aos demais membros do colegiado e a coordenação do Mestrado Prof. Dr. Flávio Augusto de Oliveira Garcia.

Às minhas amigas Caciane, Débora, Joice, Heloise, Dariana, Larissa e Ludmila pelo companheirismo que fizeram meus dias em Irati serem mais divertidos. Especialmente a Caciane pelo companheirismo e amizade durante os 6 anos de convivência.

Aos colegas de trabalho pela paciência e compreensão nos momentos de distração e nervosismo.

Aos colegas de Graduação e do Mestrado, os quais contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

A UNICENTRO e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade.

A CAPES pelo apoio financeiro por meio de Bolsa de estudos.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## Sumário

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 12 |
| 2. OBJETIVOS .....   | 3  |
| 2.1 Geral .....  | 3  |
| 2.2 Específicos.....   | 3  |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO .....   | 4  |
| 3.1 <i>Pinus taeda</i> .....   | 4  |
| 3.2 Capacidade produtiva de Sítio .....                                      | 5  |
| 3.3 Crescimento e produção.....  | 8  |
| 3.4 Modelagem do Crescimento e Produção .....                                | 9  |
| 3.5 Qualidade da madeira .....   | 11 |
| 3.5.1 Massa específica .....   | 13 |
| 3.5.2 Estabilidade dimensional da madeira .....                              | 15 |
| 3.6 Rendimento para laminação.....   | 17 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS .....   | 19 |
| 4.1 Localização e descrição da área de estudo .....                          | 19 |
| 4.2 Características do povoamento .....                                      | 20 |
| 4.2 Modelagem do Crescimento e da Produção.....                              | 21 |
| 4.2.1 Modelos hipsométricos testados.....                                    | 21 |
| 4.2.2 Modelos Volumétricos testados .....                                    | 22 |
| 4.2.3 Classificação de Sítios .....  | 23 |
| 4.2.4 Modelos de Crescimento e Produção testados .....                       | 24 |
| 4.2.5 Seleção dos Modelos testados .....                                     | 24 |
| 4.3 Influência do Sítio e da Idade nas propriedades físicas da madeira ..... | 25 |
| 4.3.1 Determinação da massa específica da madeira.....                       | 25 |
| 4.3.2 Estabilidade dimensional da madeira .....                              | 27 |
| 4.3.3 Coeficiente de Anisotropia .....                                       | 29 |
| 4.3.4 Rendimento na Laminação .....  | 29 |
| 4.3.5 Análise estatística .....  | 34 |
| 5. Resultados e Discussões .....   | 35 |
| 5.1 Modelagem do Crescimento e Produção .....                                | 35 |
| 5.1.1 Equações hipsométricas.....  | 35 |
| 5.1.2 Equações volumétricas .....  | 37 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1.3 | Classificação de sítios.....   | 40 |
| 5.1.4 | Modelos de Crescimento e Produção .....                                  | 43 |
| 5.2   | Influência do Sítio e da Idade nas propriedades físicas da madeira ..... | 44 |
| 5.2.1 | Massa específica da madeira .....  | 44 |
| 5.2.2 | Estabilidade Dimensional .....   | 45 |
| 5.2.3 | Coeficiente de Anisotropia .....   | 46 |
| 5.3   | Influência do Sítio e da Idade na Laminação .....                        | 48 |
| 5.3.1 | Rendimento efetivo na laminação .....                                    | 48 |
| 5.3.2 | Rendimento em lâminas de capa .....                                      | 49 |
| 5.3.3 | Rendimento de lâmina de segunda .....                                    | 50 |
| 6     | Conclusão .....  | 51 |
| 7     | Referências Bibliográficas.....  | 53 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1. Modelos hipsométricos testados.....   | 21 |
| Tabela 2. Número de árvores cubadas por classes de diâmetro e altura total .....  | 22 |
| Tabela 3. Modelos testados para estimar o volume (m <sup>3</sup> ). .....   | 22 |
| Tabela 4. Modelos testados para construir curvas de sítio .....   | 23 |
| Tabela 5. Modelos testados para projeção do Crescimento e Produção.....   | 24 |
| Tabela 7 Qualidade da Madeira de acordo com o coeficiente de anisotropia .....  | 17 |
| Tabela 8. Tratamentos empregados para os testes estatísticos. ....  | 34 |
| Tabela 9 Modelos volumétricos ajustados para estimativa do volume total com casca individual das árvores, com suas respectivas estatísticas ..... | 38 |
| Tabela 10. Modelos ajustados para classificação em classes de sítio. ....   | 40 |
| Tabela 11. Limites de altura dominante para as classes de sítio I, II e III. ....   | 42 |
| Tabela 12. Modelos de crescimento e produção ajustados com suas respectivas estatísticas.....   | 43 |
| Tabela 13 Média e Análise de Variância da massa específica básica da madeira de <i>Pinus taeda</i> em função do sítio e da idade .....            | 44 |
| Tabela 14 Médias e Análise variância da retratibilidade da madeira de <i>Pinus taeda</i> , em função do sítio e da idade.....                     | 45 |
| Tabela 15 Média e Análise de Variância do Coeficiente de anisotropia da madeira de <i>Pinus taeda</i> em função do sítio e da idade .....         | 47 |
| Tabela 16 Média e Análise de Variância do Rendimento Efetivo da laminação em função do sítio e da Idade. ....                                     | 48 |
| Tabela 17 Média e Análise de variância do Rendimento em Lâmina de capa em função do sítio e da Idade. ....  | 50 |
| Tabela 18 Média e Análise de Variância do Rendimento em Lâmina de segunda em função do sítio e da Idade. ....                                     | 51 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Mapa de localização Empresa Santa Maria Papel e celulose.....   | 19 |
| Figura 2 Mapa de Localização da Fazenda Baú.....   | 20 |
| Figura 3 Tanque para saturação de corpos-de-prova. ....  | 26 |
| Figura 4 a. Balança de precisão para determinação de volume do corpo-de-prova;<br>b. corpo-de-prova saturado imerso em água para determinação do volume..... | 26 |
| Figura 5 Fluxograma do procedimento para determinação da massa específica da<br>madeira.....   | 27 |
| Figura 6 Corpos-de-prova completamente secos, recém retirados da estufa.....   | 28 |
| Figura 7 Toras processadas na beira do talhão.....   | 30 |
| Figura 8 Tapete de Lâmina saindo antes da guilhotinagem. ....  | 31 |
| Figura 9-a Descascamento da tora em Torno desenrolador; b- Toras descascadas<br>seguindo para roleteira. ....  | 31 |
| Figura 10 Esquema para cálculo de rendimento de laminação.....   | 32 |
| Figura 12. Distribuição de resíduos para os modelos hipsométricos testados. ....   | 37 |
| Figura 13. Distribuição de resíduos para a variável volume total com casca ( $m^3$ ). 39   |    |
| Figura 14. Distribuição de resíduos para os modelos de sítio.....  | 41 |
| Figura 15 Curvas de sítio geradas pelo modelo Silva e Bailey. ....   | 42 |

## RESUMO

Bárbara Dalgallo- Produção e qualidade da madeira para laminação de *Pinus taeda* em diferentes sítios florestais.

O objetivo desta pesquisa foi realizar a modelagem do Crescimento e da Produção para um povoamento de *Pinus taeda*, assim como classificar este povoamento em sítios florestais e avaliar se existe influência do sitio nas propriedades físicas da madeira e no rendimento da laminação. A área de plantio onde os dados foram coletados é de 807 ha. O povoamento está localizado no município de Guarapuava, na região Centro-sul do Paraná. Os dados para a modelagem e classificação de sítio, foram obtidos de 80 parcelas permanente de um inventário florestal contínuo, com idades variando entre nove e 20 anos. Os modelos foram avaliados com o coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e análise gráfica dos resíduos. Para análise da massa específica básica, estabilidade dimensional e do rendimento para laminação foram coletadas seis árvores nas três idades testadas (9, 14 e 20 anos). A massa específica básica foi determinada de acordo com a NBR 11.941 e a determinação da estabilidade dimensional foi baseada na norma NBR 7190. As avaliações foram realizadas com amostras retiradas das duas primeiras toras de cada árvore coletada, as quais foram usadas para a laminação. Os modelos hipsométricos, volumétricos e de classificação de sítio que melhor se ajustaram aos dados foram os testados por Nogueira (2003b) e Schumacher-Hall (1933). Para classificação de sítio o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o de Silva-Bailey. A massa específica básica teve variação com a idade e não sofreu influência do sitio florestal. A estabilidade dimensional da madeira sofreu influência da idade e do sítio florestal. O rendimento efetivo também teve variação significativa dos fatores idade e sítio.

**Palavras-chave:** Estabilidade dimensional; Rendimento da laminação; Crescimento e produção.

## ABSTRACT

Bárbara Dalgallo - Production and wood quality of *Pinus taeda* in different forest sites, aiming lamination.

The objective of this research was to conduct modeling Growth and Production for *Pinus taeda*, and sort it in forest sites and assess whether there is influence of site on wood quality. The area of study is 807ha. The stand is located in the center-south of Paraná, in Guarapuava. The data for modeling and classification of sites were obtained through installments permanent of a continuous forest inventory, with ages varying between 9 and 20 years. For analysis of the density and yield, were collected 6 trees in the three ages tested (9, 14 and 20 years). The models were evaluated using the adjusted determination coefficient, standard error of the estimate and graphical analysis of the residuals. To determine the density and dimensional stability, were made specimens in the form of wedges, according to NBR 7190. The evaluation of the efficiency of lamination was made based on the first two logs collected from each tree, with the same sampled for density and dimensional stability. Hypsometric and volumetric models that best adjusted the data were tested by Nogueira (2003b) and Schumacher-Hall (1933). For the site classification, the model that best fit the data was the Silva-Bailey. The density was influenced by age, but not by the forest site. Concerning to dimensional stability, there was no variation in any of the factors, age and site. The effective yield, in turn, suffered significant variation by age factor.

**Keywords:** Wood quality; *Pinus taeda*; growth and production; wood density.

## 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais o setor florestal no Brasil, faz a opção pela escolha de espécies exóticas de rápido crescimento para atender a demanda do setor florestal. As principais espécies exóticas plantadas são o *Pinus* spp. e o *Eucalyptus* spp. Sendo o Pinus, mais plantado na região Sul devido às condições climáticas serem mais adequadas ao seu cultivo. Segundo ABRAF (2012) a área de plantio de Pinus é de 1.641.992 ha.

Atualmente no manejo florestal se faz necessário a aplicação de técnicas adequadas que visam melhorar a produtividade dos plantios florestais, buscando a obtenção de madeira com características desejáveis para atender as demandas atuais do mercado.

Dentre estas técnicas, destaca-se a modelagem do crescimento e da produção, que emprega modelos matemáticos visando obter predições do crescimento e da produção para o povoamento florestal e definir inclusive, a melhor utilização do estoque. Esta escolha e aplicação de modelos matemáticos são de fundamental importância, pois devem permitir ao manejador florestal a realização de estimativas acuradas, tornando o planejamento mais eficaz, principalmente no que diz respeito ao crescimento e produção do povoamento florestal. Os modelos utilizados na área florestal podem ser classificados em três categorias principais: modelos em nível de povoamento (também denominados de modelos de povoamento total ou modelos globais), modelos de distribuição diamétrica e modelos de árvores individuais. Os primeiros baseiam-se na utilização de variáveis em nível de povoamento (área basal, idade, índice de sítio, etc.) gerando, com isso, estimativas referentes a uma determinada área. Os modelos de distribuição diamétrica geram estimativas do número de árvores e da produção por classe diamétrica, tanto na idade atual quanto em idades futuras. Finalmente, os modelos de árvores individuais utilizam informações da árvore individual como unidade básica para predição (CAMPOS e LEITE, 2009). Uma das etapas fundamentais na modelagem do crescimento e produção florestal é a determinação da capacidade produtiva. A capacidade produtiva se refere à capacidade para produção de madeira ou outro produto de determinado lugar, para uma espécie ou clone em particular, podendo ser determinada por métodos diretos e indiretos (CAMPOS e LEITE, 2009).

A classificação do sítio de forma direta permite definir um índice de sítio baseado na relação entre a altura dominante média e a idade do povoamento, em uma determinada idade índice.

A classificação da capacidade produtiva por este método permite identificar sítios homogêneos e também analisar a influência do sítio na produção do povoamento.

Essa predição de crescimento é muito importante, pois através dela pode-se identificar a destinação da floresta. A capacidade produtiva de local exerce influência no desenvolvimento da floresta e na qualidade final do produto madeira. Outro ponto importante é a idade, pois se não houver alteração na qualidade da madeira quando comparadas diferentes idades, pode resultar em uma diminuição no ciclo da floresta, consequentemente um menor custo de produção. Portanto, torna-se evidente a importância de analisar a influência das variáveis sítio e idade na qualidade da madeira destinada à laminação, visando potencializar o manejo com alto valor agregado.

## **1. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo geral desta pesquisa foi modelar o crescimento e a produção de povoamentos de *Pinus taeda* e avaliar a influência do sítio e da idade na qualidade da madeira para laminação.

### **2.2 Específicos**

- Ajustar modelos hipsométricos e volumétricos;
- Ajustar modelos de crescimento e produção global para esses povoamentos;
- Construir curvas de sítio para um povoamento de *Pinus taeda* na região centro-sul do Paraná;
- Avaliar a influência do sítio nas propriedades físicas da madeira e rendimento da laminação.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 *Pinus taeda*

O gênero *Pinus* é considerado uma conífera de médio a grande porte com fuste longo e cilíndrico. Possui cones curtos com espinhos triangulares e tem crescimento rápido, podendo atingir de 27 a 34 m de altura e 76 cm de diâmetro na maturidade, em locais de ocorrência como nativa (CAREY, 1992). Pode ser plantado em regiões tropicais e subtropicais com altitudes de até 900 m, precipitação média anual entre 900 e 2.200 mm e estação seca de até 6 meses; temperatura média anual entre 14°C e 24°C e com temperatura média do mês mais frio entre 1°C e 18°C. É tolerante a geadas e pode resistir a períodos de alagamento do solo e de déficit hídrico. Pode crescer em uma grande variedade de tipos de solos, em diferentes texturas, capacidade de retenção de umidade e acidez (BOOTH e JOVANOVIC (2000) *apud* HIGA et al. (2008)).

A introdução do gênero *Pinus* no Brasil, visando plantios comerciais, deu-se por volta dos anos 1966, com a política dos incentivos fiscais, utilizando-se espécies provenientes de diferentes regiões dos Estados Unidos, México, América Central, Ilhas Caribenhas e Ásia. Desta forma foram implantados vários experimentos de campo, sendo possível assim traçar um perfil das características de desenvolvimento de cada espécie, possibilitando plantios nos variados sítios ecológicos do país (SHIMIZU, 2008).

Para regiões mais altas no sul do Brasil a espécie que teve maior destaque foi o *Pinus taeda* L. (LORENZI, 2003). Como as condições de desenvolvimento para a espécie são favoráveis no país, as árvores de *Pinus* plantadas atingem dimensões comerciais em menor idade comparando com condições naturais de desenvolvimento. No entanto, as propriedades da madeira são diferentes entre elas. Um dos principais problemas relacionados com o processo e a utilização destas florestas são as características referentes ao seu crescimento acelerado (MATOS, 2002).

As áreas plantadas com *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. no Brasil em 2011 totalizaram mais de 6,5 milhões de hectares, sendo 25,2% de áreas plantadas com *Pinus*, um total de 1,6 milhões de hectares (ABRAF, 2012).

O *Pinus taeda* tem sido umas das espécies florestais mais plantadas no sul do Brasil. As maiores extensões plantadas estão nos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. O estado do Paraná conta com 658.7071 hectares plantados com a

espécie, grande parte dessas áreas plantadas é consequência da sua importância na produção de papel e no mercado madeireiro no Brasil (PEREIRA, 2003).

De acordo com Sanquetta (2002), o *Pinus taeda* apresenta um maior crescimento e produtividade de madeira na região de planalto, no Sul e Sudeste do Brasil, com solos bem drenados e mesmo em locais com ocorrência de geadas, porém sem déficit hídrico.

No início da introdução da espécie, as árvores apresentavam baixa qualidade do fuste, sendo tortuosos, bifurcados e com ramos grosseiros. Essas eram algumas das principais características da espécie na época, devido à procedência das sementes, as quais foram importadas sem correto controle de qualidade genética. Sendo uma espécie altamente variável quanto à resistência a geada e à temperatura requerida para seu crescimento, foram necessários vários estudos sobre variações geográficas nos materiais genéticos introduzidos no Brasil. Chegando a conclusão de que as espécies procedentes da planície costeira do estado da Carolina do Sul são as que apresentam maior qualidade de fuste e produtividade no Sul e Sudeste do Brasil (SHIMIZU, 2008).

A madeira de Pinus se constitui em uma importante matéria-prima para variados produtos e sua utilização tem crescido a cada ano. São muitas as vantagens da sua utilização, por se tratar de um material homogêneo e com maior confiabilidade (KRONKA *et al.*, 2005).

### **3.2 Capacidade produtiva do sítio**

Campos e Leite (2009) definiram capacidade produtiva do sítio como “o potencial para a produção de madeira (ou outro produto) de determinado lugar, para determinada espécie ou clone”. Podendo essa capacidade produtiva ser expressa de forma qualitativa como alta, média e baixa ou por meio do índice de sítio, sendo este, uma forma quantitativa de classificação. O índice de sítio é a altura dominante média de um povoamento em uma determinada idade, denominada idade índice.

Para classificação da capacidade produtiva existem basicamente três métodos. A primeira forma de avaliar seria pela vegetação, seguindo com avaliação por fatores edáficos, fisiográficos, biológicos e climáticos. E por fim a relação altura dominante e idade, com a definição de índices de local, onde necessita existência de florestas no local (MACHADO *et al.*, 1997).

Machado *et al.* (1997) ressaltaram a importância dessa classificação, a qual pode ser a base da estratificação dos povoamentos florestais, tanto para fins de inventário, como para fins de exploração com base em um rendimento sustentado, ou ainda para classificar as possibilidades e riscos para o manejo das florestas, sendo o sítio uma variável a ser considerada em planejamento local ou regional, de curto ou de longo prazo. Da mesma forma, Scolforo (1998) citou que a qualidade do local é uma prática comum no manejo florestal para classificar os povoamentos equiâneos quanto à sua capacidade produtiva. Também se constitui em uma variável importante em qualquer sistema de predição da produção.

Sabe-se que a taxa de crescimento das árvores varia ao longo do tempo de acordo com o ambiente ou até mesmo por intervenções humanas. Isso possibilita construir os fundamentos matemáticos para estimar o crescimento da mesma em um determinado sítio. O relato desse crescimento pode ser feito, em geral, com uma determinada função, empregando-se técnicas de regressão (MARTINS, 2007).

Em geral, o índice de sítio tem sido expresso pela relação altura dominante e idade. Vale ressaltar que na maioria das espécies, as áreas com grande capacidade produtiva são também aquelas cujo crescimento em altura é elevado, podendo concluir que existe relação significativa entre a altura dominante dos indivíduos do povoamento e a capacidade produtiva do local (CAMPOS e LEITE, 2009).

A estimativa da qualidade de local, proveniente de dados de altura tem sido o processo mais prático, consistente e eficiente. Grande parte pelo fato de que o padrão de desenvolvimento em altura, das maiores árvores, em povoamentos de mesma idade, é pouco afetado pela densidade do mesmo. Como a maioria das espécies usadas em florestas plantadas possui as características descritas anteriormente, a avaliação da qualidade de sítio é feita, baseando-se nas alturas dominantes e co-dominantes (MACHADO *et al.*, 1997).

Também deve ser considerado o fato de que, para muitas espécies o crescimento em altura está fortemente relacionado com o crescimento em volume, resultando assim em um maior ganho em volume quanto maior for a qualidade do sítio (SCOLFORO, 1993).

O uso da altura como elemento dendrométrico mais adequado para classificação de sítio já era conhecido desde o século XVIII, na Alemanha. Na Europa costumava-se usar a altura média, sendo esta a média das alturas das árvores que possuíam a área transversal média do povoamento. No entanto, esta altura sofre a influência do desbaste

elevando automaticamente a mesma, portanto não sendo essa altura, indicada para classificação de sítio (BURGER, 1980). O mesmo autor citou também que nos EUA, - emprega-se a altura média das árvores dominantes e codominantes. A diferença está na caracterização das árvores como co-dominantes, a qual é feita de forma arbitrária, de acordo com cada pessoa, portanto também não recomendada pelo citado autor.

Segundo Campos e Leite (2009), o uso de parcelas permanentes, geralmente obtidas de inventários florestais contínuos, onde as árvores dominantes são marcadas e remedidas periodicamente é um método eficiente de coleta de dados. Entretanto, atentam ao fato para tomar cuidado em garantir que todas as classes de produtividade estejam representadas, muitas vezes não sendo necessário o uso de todas as parcelas permanentes. A coleta de dados feita através de análise de tronco completa se assemelha aos dados coletados por parcelas permanentes, porém com um tempo gasto na coleta de dados mais curto. Vale ressaltar que este método se limita às coníferas e algumas folhosas, nas quais são visíveis os anéis de crescimento.

A construção de curvas de índices de local constitui um método prático e consistentes onde todos os fatores ambientais são refletidos no crescimento em altura, a qual tem alta correlação com o volume. Além disto, existe a vantagem de que a altura das árvores dominantes não sofre influência da competição. A classificação feita de forma quantitativa e não qualitativa é outra vantagem deste método. Porém, quando não existem árvores da espécie a ser cultivada e em áreas com espécies folhosas, não é possível a aplicação deste método, devido ao desconhecimento da idade dos indivíduos (CAMPOS e LEITE, 2009).

Sabe-se que a taxa de crescimento das árvores varia ao longo do tempo de acordo com o ambiente ou até mesmo por intervenções humanas. Isso possibilita construir os fundamentos matemáticos para estimar o crescimento da mesma em um determinado sítio. O relato desse crescimento pode ser feito, em geral, com uma determinada função, empregando-se técnicas de regressão (MARTINS, 2007).

Para a construção das curvas de índices de sítio existem várias alternativas: método da curva-guia, da atribuição preliminar de índices de local, da equação das diferenças, método de Hammer e método da predição dos parâmetros (CAMPOS e LEITE, 2009).

Os modelos para classificação de capacidade produtiva são divididos entre: lineares ou passíveis de linearização, que podem ser ajustados pelos métodos de regressão linear simples ou múltipla; e modelos não lineares, estes são ajustados por método de regressão não linear (BATISTA, 1986).

### 3.3 Crescimento e produção

O crescimento transversal da floresta refere-se ao acréscimo nas dimensões, podendo ser em altura, diâmetro, área basal e volume. Já a produção é o tamanho final após um período de observações. Sendo assim, pode-se considerar que o crescimento é uma taxa absoluta e a produção é o acúmulo ou crescimento total (SPATHELF e NUTTO, 2000).

O sítio tem sido a segunda variável independente utilizada nos estudos de crescimento e produção. Acima de tudo, sítio é uma variável importante em qualquer sistema de predição e produção (Spurr (1952) *apud* Scolforo, 1998).

No caso de florestas homogêneas, os níveis de produtividade variam em função da diversidade de espécies, procedências, sítio, idade, espaçamento, manejo e carga genética (SCOLFORO, 1998). De maneira geral, o crescimento é expresso por um dos seguintes incrementos: o Incremento corrente anual (ICA), Incremento médio anual (IMA), Incremento periódico (IP) e Incremento periódico anual (IPA) os quais são geralmente expressos por hectare (CAMPOS e LEITE, 2009).

Schneider (1993) citou que para povoamentos equiâneos a área basal total é função do diâmetro médio das árvores e também da densidade populacional. Sendo assim, em povoamentos mais densos, resultam em valores de área basal maiores até o momento em que o povoamento começa a competir, e causa uma redução no incremento diamétrico. A área basal sofre influência da qualidade do sítio e da idade, sendo que, para sítios mais produtivos ocorre uma maior taxa de crescimento inicial e em povoamentos maduros o incremento em área basal tende a estagnar. O mesmo autor afirmou que uma pequena melhora na qualidade de um sítio resulta em um notável incremento na área basal.

Scolforo e Machado (1996), em um estudo do crescimento e produção de *Pinus caribaeavar. hondurensis*, constataram com ajuda de um simulador, que os desbastes precoces resultam em maiores produções de volume laminado e serraria, porém, nos

povoamentos com menos desbastes a produção volumétrica total é maior. No entanto, o diâmetro mínimo desta floresta limita o seu uso comercialmente. Ainda apontaram a diferença que ocorre na produção quando os desbastes são efetuados em diferentes épocas, obtendo um resultado onde indica que a maior produção de volume total e para laminação ocorre nos regimes em que o desbaste foi realizado mais cedo.

### **3.4 Modelagem do Crescimento e Produção**

Um modelo de crescimento e produção é uma representação simplificada de alguns aspectos da realidade, sendo uma forma de representar a floresta em pé e pode abranger o crescimento, mortalidade, e outras mudanças na composição e na estrutura. Geralmente refere-se a um sistema de equações que podem prever o crescimento e a produção numa ampla variedade de condições. Sendo assim, um modelo de crescimento pode conter uma série de equações matemáticas, que é onde entra o auxílio de computadores que facilitam a resolução desse sistema de equações.

Uma maneira lógica de expressar o crescimento (incremento) e a produção florestal é por meio de modelos, sendo que este pode ser caracterizado por gráficos, tabelas, por gráficos e tabelas, por uma equação ou conjunto de equações (CAMPOS e LEITE, 2009). Na engenharia Florestal os modelos são importantes na escolha dos tratamentos silviculturais, na prognose dos recursos futuros e por fim para apoio na tomada de decisão no manejo e na política florestal (SPATHELF e NUTTO, 2000).

A classificação dos modelos se dá de acordo com as variáveis envolvidas, ou seja: a) Modelos globais são os que apresentam estimativas ao nível de povoamento, podendo ser subdividido em modelo de produção empírico e modelo de densidade variável; b) Modelo de produção por classe diamétrica e c) Modelos de árvores individuais, este último podendo ser independente ou dependente do espaçamento (SCOLFORO, 1998).

O uso de modelos na área florestal é amplamente difundido, principalmente nas áreas de inventário, manejo e crescimento florestal. Os modelos auxiliam na prognose, sendo que são baseados em dados limitados oriundos de observações em campo. Estes modelos exigem dados auxiliares para poderem fornecer informações úteis. Com dados de inventários e de outros recursos, modelos de crescimento fornecem de uma maneira confiável, dados para tomada de decisão na silvicultura, rendimento sustentável de madeira, assim como examinar os impactos do manejo florestal e da colheita. Com o

auxílio das informações geradas pelos modelos, podem ser formuladas prescrições e guia de política florestal (VANCLAY, 1994).

Na literatura são encontrados diversos modelos de crescimento e produção, podendo ser desde simples equações que expressam a produção por unidade de área em função da idade, sítio e densidade, até modelos mais complexos com equações que simulam o crescimento individual das árvores de um povoamento em função das próprias características ou de árvores vizinhas (CLUTTER et al., 1983).

A seleção de funções para modelagem do crescimento e produção das árvores e do povoamento é uma fase muito importante na elaboração dos modelos de produção, podendo essas funções serem agrupadas em empíricas e funcionais. As empíricas (modelos empíricos) são quando se estabelece uma relação artificial entre a variável dependente e as variáveis independentes com uma fórmula matemática, sem explicar o crescimento. Já os modelos funcionais são derivados diretamente a partir de proposições lógicas sobre as relações entre as variáveis, apresentando uma hipótese subjacente associada ao fenômeno descrito pela variável resposta (FREIRE, 2002).

Segundo Vanclay (1994) as equações de crescimento são uma forma concisa e conveniente para expressar o crescimento e as relações de produção, pois as equações de crescimento têm a vantagem de poder simular colheita e/ou tratamento silvicultural, a qualquer momento durante a projeção.

Os modelos em nível de povoamento, são modelos que não explicam diretamente a variação do tamanho das árvores dentro de um povoamento. A estimativa do crescimento e da produção é feita a partir de atributos em nível de povoamento, como a idade, área basal e índice de sítio. Os modelos que melhor representam essa relação são os modelos de densidade variável e modelos empírico e normal. O modelo normal é o mais antigo aplicado a povoamentos completamente estocados. Os modelos empíricos são estáticos, porque não envolvem a projeção da densidade. Eles fornecem informações do povoamento sob condições específicas de manejo. (CAMPOS e LEITE, 2009).

Segundo os mesmos autores, modelos do tipo densidade variável, incluem a variável densidade como uma parte dinâmica do sistema de equações. Neste caso, o volume por ha é estimado em função da idade ( $I_1$ ) e área basal ( $G_1$ ) presentes, o índice de sítio ( $S$ ), a idade ( $I_2$ ) e a área basal ( $G_2$ ) para a idade de projeção. Este tipo de modelo estima a produção para diferentes níveis de área basal remanescente.

É desejável que os modelos de povoamento total sejam compatíveis, consistentes e flexíveis (GORGENS, 2007). São compatíveis quando a integral da equação de crescimento resulta na equação de produção, da mesma forma que a derivada da equação de produção gera a equação de crescimento. Consistente porque as estimativas podem ser obtidas projetando a área basal de ano a ano ou diretamente para um ano com um intervalo e também pela estimativa da produção para uma determinada idade seja igual a produção observada (CAMPOS e LEITE, 2009).

A escolha do modelo depende do tipo de informação pretendida, do nível de detalhamento necessário, das características do povoamento e do tipo de dados disponíveis. Relações do tipo  $V = f(I)$  são mais limitadas e frequentemente são evitadas em casos de áreas extensas e heterogêneas, onde ocorre variação de densidade e sítio. Já relações funcionais do tipo  $V = f(I, S)$  resultam em estimativas melhores, as quais são capazes de avaliar o efeito da capacidade produtiva. Para este último caso, são obtidas idades técnicas de colheita para cada tipo de índice de local. Para relações onde  $V = f(I, S, G)$  são modelos com informações mais detalhadas, onde para cada índice de local e densidade inicial existe uma idade técnica de colheita, um crescimento e uma produção. Com essas relações é possível modelar o crescimento e a produção em plantios submetidos a desbastes, permitindo assim, avaliar o efeito de diferentes regimes de manejo. O modelo mais utilizado pelas empresas florestais brasileiras até o momento é o de Clutter em função de idade (I), sítio (S) e densidade (G) (CAMPOS e LEITE, 2009).

### **3.5 Qualidade da madeira**

Embora muito utilizado, o termo qualidade da madeira é complexo para ser definido. A percepção do que constitui a qualidade pode variar entre diferentes setores do ramo florestal (MacDONALD, 2002).

Atualmente no Brasil existe um aumento no estudo da qualidade da madeira, devido à necessidade de encontrar um destino adequado para espécies florestais, principalmente as espécies de rápido crescimento.

Mesmo sendo difícil classificar a qualidade da madeira, sabe-se que vários fatores influenciam na adequação da madeira para diversos fins. Dentre esses fatores estão: a massa específica, uniformidade de anéis de crescimento, porcentagem de cerne e alburno, comprimento de fibra, inclinação de grã, porcentagem de vasos em folhosas,

e presença de madeira juvenil e de reação, além da composição celular, presença de nós e composição química (CHIES, 2005).

Grande ênfase tem sido dada às pesquisas sobre qualidade da madeira, para que esta seja destinada a usos adequados levando em consideração algumas de suas características. Estudos relacionados à massa específica, orientação da grã, comprimento de fibras, resistência mecânica e características tecnológicas, principalmente com espécies de rápido crescimento, tem tido grande importância na atualidade (CASTELO, 2007).

Klock (1989) ressaltou a importância do conhecimento de anatomia para o correto entendimento das propriedades da madeira, assim como a ultraestrutura da parede celular e suas variações.

No processo para obter produtos sólidos de madeira a presença de nós é um fator importante quando se trata de qualidade da madeira. Variações quanto ao tamanho, frequência, posição e tipo (vivo ou morto) de nós são de fundamental importância. Já na indústria celulósica a presença de nós é menos importante, pois este em vezes é separado no início do processo ou até mesmo degradado nos processos químicos (THUNELL, 1958 *apud* CHIES, 1995).

Cown (1974) *apud* Klock (2000) mencionou que provavelmente, a variação estrutural dentro da árvore seja mais significativa do que entre as árvores. Há muito tempo vem se pesquisando sobre as diferenças existentes entre espécies, variações das características anatômicas, das propriedades físicas e mecânicas dentro de um mesmo indivíduo (KLOCK, 2000).

Na maioria das espécies de *Pinus* spp. a densidade é maior no lenho tardio. Outro fator é a regularidade da espessura dos anéis de crescimento, os quais influenciam na resistência da madeira (KRONKA et al., 2005). Chies (2005) apresentou uma massa específica aumentando no sentido base-topo, assim como, na direção medula-casca, para a espécie de *Pinus radiata*.

Não se pode afirmar que o uso de mesmos tratamentos silviculturais resultará em características idênticas quanto à qualidade da madeira. Frequentemente, sob condições diferenciadas de tratamentos, a madeira apresenta características semelhantes e desta forma não é possível fazer generalizações absolutas, pois sempre há exceções em se tratando de qualidade da madeira e tratamentos silviculturais (ZOBEL, 1992).

Bampi (1991) comentou o fato de até que ponto o manejo florestal pode controlar a qualidade da madeira. Para isso, faz-se necessário o conhecimento das

propriedades que determinam a qualidade da madeira e até onde elas são influenciadas por características genéticas e por modificações do ambiente.

Tendo conhecimento da importância e da complexidade que compõe o planejamento da produção de madeira, o uso de informações relacionadas à qualidade da madeira em função dos sítios de crescimento, é uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão (CASTELO, 2007).

A importância atribuída à qualidade da madeira depende do seu produto final, mas a massa específica ou densidade da madeira é possivelmente o indicador mais importante, sendo que esta influencia o rendimento e a qualidade dos produtos de madeira fibrosa ou sólidos. Como exemplo, pode-se citar a correlação da densidade da madeira no rendimento de polpa, qualidade de polpa e a resistência e rigidez da madeira (ZOBEL, 1992).

### **3.5.1 Massa específica**

Entende-se por massa específica aparente básica, a razão entre a massa seca e o volume saturado da madeira.

A massa específica da madeira fornece a quantidade de sólido existente em uma amostra. É uma medida de fácil obtenção quando levado em consideração as importantes informações que fornecem, as quais auxiliam na predição de utilização final da madeira (JOZSA, 1994).

Jozsa (1994) definiu a madeira como um material poroso, consistindo de uma matriz de paredes de fibras e também com espaços com ar. Os espaços são preenchidos por ar, formando cavidades nas fibras (lumens) e em quantidade muito menor dentro das paredes das fibras. A parede da fibra (parte sólida da madeira) é constituída por três componentes principais: celulose, hemicelulose e lignina. Desta forma, admite-se que para diferentes espécies com uma mesma massa específica, a substância sólida é considerada igual. Por esta razão, a massa específica é considerada uma medida excelente para determinação do uso final de acordo com características como rigidez, força, dureza, rendimento, dentre outros.

Rocha et al. (1988) *apud* Berger (2000) ressaltaram que a densidade influencia na resistência à flexão da madeira porém, é uma característica que reflete também a composição química da madeira e a quantidade lenhosa por peso. Sendo assim, não se

pode afirmar que quanto mais densa for a madeira mais resistente ela será. Com relação à umidade esta exerce grande influência nas características físicas e mecânicas da madeira. Quando se pretende obter uma maior resistência de madeira verde, deve-se submeter a madeira à secagem, pois à medida que a água é removida das paredes celulares a madeira vai contraindo e com isso as microfibrilas vão se aproximando dando maior resistência.

Na maioria das vezes, a massa específica da madeira está relacionada com as características de crescimento em altura e/ou diâmetro. Estudos realizados por Squillace *apud* Moreschi (1976) apontaram sobre a variação da massa específica ao longo do fuste e no sentido medula-casca de uma seção transversal. Esses estudos indicaram que a massa específica é inversamente proporcional ao diâmetro a 1,30 m de altura (DAP), e diretamente proporcional a altura total da árvore. Fazendo comparações obtiveram que, árvores com DAP relativamente maiores e com baixas alturas, tendem a ter uma massa específica baixa, e as árvores com DAP menores com maiores alturas, uma massa específica mais elevada.

A massa específica é considerada também por Chies (2005) como uma característica muito importante a ser avaliada quanto à classificação da qualidade da madeira, pois influencia a higroscopicidade, a contração e inchamento, as propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas e outras propriedades básicas assim como as relacionadas ao processamento industrial da madeira. Outro fator relevante apontado pelo autor é a idade, tendo citado vários pesquisadores que afirmaram que a massa específica básica média das coníferas, tende a aumentar com a idade.

É de conhecimento que existe uma grande variação da massa específica, podendo variar de acordo com o gênero, entre espécies pertencentes ao mesmo gênero até mesmo entre árvores de um mesmo povoamento. Estas variações ocorrem de forma significativa em função da taxa de crescimento, local de origem, espaçamento, idade, procedência, entre as árvores de mesma espécie e até mesmo dentro de uma mesma árvore (CHIES, 1995).

O julgamento da madeira é feito para um determinado uso a que esta é destinada (energia, lâminas, celulose, etc), já a qualidade são avaliações de parâmetros como densidade e ângulos de fibras que afetam diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira (JANKOWSKY, 1979 *apud* LAZARETTI, 2007).

Para a obtenção de madeiras mais resistentes, com maior massa específica e mais estáveis dimensionalmente, Serpa et al.(2003) recomendaram utilizar árvores mais

velhas, as quais possuem madeira com maior resistência à flexão e à compressão paralela as fibras.

A proporção de copa viva é uma prática estreitamente relacionada com a qualidade da madeira, pois esta define a posição em que as auxinas e carboidratos são produzidos, e a presença e relativa abundância desses materiais tem forte influência na extensão do lenho juvenil, na proporção de lenho inicial e tardio e na posição no tronco da máxima largura de anel, definindo o afilamento do tronco (DANIEL, 1979 *apud* SCHILLING, 1998).

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas gera um uso mais racional da madeira, afirmaram Dias e Lahr (2004). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em seu projeto de estruturas de madeira dispõe de informações completas sobre características de algumas espécies quanto à resistência da madeira, massa específica, módulos de ruptura e elasticidade tudo a 12% de umidade.

Em sítios mais produtivos, Scolforo et al. (1997) explicaram que há uma tendência de que a melhor estratégia seja o plantio em espaçamentos mais amplos, permitindo a essas árvores o máximo aproveitamento dos nutrientes, água e luz que o sítio pode oferecer. Essas árvores apresentarão um ritmo de crescimento acelerado, gerando, como produto final, toras de maiores dimensões.

Siqueira (2004) em seu trabalho não encontrou diferença significativa entre a massa específica de diferentes sítios florestais, porém, observou a tendência de aumento na massa específica no sítio de menor produtividade.

### **3.5.2 Estabilidade dimensional da madeira**

A madeira é um material poroso e higroscópico, o qual tem a capacidade de trocar continuamente água com o meio ambiente. Esta troca acontece pelo fato da madeira estar sempre buscando o equilíbrio de potencial energético entre os dois meios. Quando a madeira perde água, ou seja, ela seca, além de perder massa ela sofre uma diminuição nas suas dimensões. Esta diminuição nas dimensões é denominada de retratibilidade linear, assim como quando esta ocorre no volume é chamada de retratibilidade volumétrica. O processo inverso também acontece e é denominado de expansão volumétrica (JOZSA, 1994).

Para a grande maioria das espécies essa variação ocorre até um valor fixo de 28%, o qual é chamado de Ponto de Saturação das Fibras (PSF). Um fator importante a

ser considerado na avaliação da retratibilidade da madeira é a variação no gradiente de umidade durante o processo de secagem, pois enquanto algumas regiões atingem a umidade limite de estabilidade, outras podem não ter alcançado este limite. Um exemplo é quando se compara a borda de uma tábua com o seu interior, enquanto a borda esta seca o interior pode ainda não ter atingido seu limite de retratibilidade. Isso leva a crer que as retrações para pontos diferentes na madeira não ocorrem simultaneamente. Por isso, a importância dos gradientes de umidade, pois ao expor a madeira já seca (das bordas) à secagem esta pode ser danificada, pois estará deixando a madeira com umidade abaixo do PSF. Aspectos como massa específica e dimensões da madeira também devem ser considerados para a determinação dos gradientes de umidade. A massa específica da madeira tem uma relação linear com a máxima retratibilidade volumétrica (REZENDE et al., 1995).

Para o uso industrial da madeira, o estudo do comportamento da mesma quanto às suas variações dimensionais é essencial, da mesma forma que as relações existentes entre massa específica, umidade, contração e inchamento. Essas alterações que ocorrem são muitas vezes responsáveis pelos principais defeitos na secagem como empenamentos e rachaduras. Essas variações juntamente com as características anisotrópicas são indesejáveis do ponto de vista prático (REZENDE, 2003).

A Tabela 1 classifica a madeira para diferentes fins de acordo com seu coeficiente de anisotropia.

Tabela 1 Qualidade da Madeira de acordo com o coeficiente de anisotropia

| Coeficiente de Anisotropia | Classificação de Qualidade | Finalidade sugerida   |
|----------------------------|----------------------------|---|
| 1,2 a 1,5                  | Excelente                  | Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte e etc. |
| 1,5 a 2,0                  | Normal                     | Estantes, mesas. Armários, usos que permitam pequenos empenamentos.               |
| Acima de 2,0               | Ruim                       | Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha, etc.   |

### 3.6 Rendimento para laminação

A produção de lâminas, em grande escala, teve grande impulso com a instalação das indústrias de compensado, no início do século XX. No Brasil teve início na década de 1930, onde as indústrias situadas na região sul, utilizavam na maioria, madeira de *Araucaria angustifolia*. Esta era escolhida pela abundância na época e pelas excelentes características para obtenção de lâminas e fabricação de compensados. Por volta da década de 1980, devido à redução do volume disponível da espécie e por questões ambientais, a utilização do gênero *Pinus* oriundo de florestas plantadas passou a ser a principal fonte de matéria-prima no sul do país (BONDUELLE et al., 2004).

Durante algum tempo o setor florestal sofreu com a falta de matéria-prima adequada, relacionada a diâmetros e qualidade da madeira para laminação em decorrência de um longo período em que a matéria-prima utilizada para este fim, era proveniente de araucária, que se trata de uma madeira com baixa conicidade e uma melhor resistência. Mas com a escassez dessa matéria-prima, novas alternativas para

melhor aproveitamento da madeira de Pinus foram surgindo e sendo aprimoradas. Atualmente, essa oferta de madeira foi suprida, mas a preocupação com relação ao aproveitamento máximo da madeira continua (POTULSKI, 2010).

Com a grande competição por um espaço no setor florestal, as empresas se vêm obrigadas a sair em busca de melhorias em seus sistemas produtivos, tentando eliminar toda forma de perda existente. Uma das formas mais adequadas de dimensionar e controlar esse máximo aproveitamento é pelo conhecimento do rendimento produtivo das indústrias e conseqüentemente dos resíduos gerados, além dos possíveis usos a que estes possam ser destinados. Desta forma, é possível analisar as perdas ocorridas no processo e quais são os fatores principais que influenciam no mesmo.

O baixo rendimento na laminação gera, conseqüentemente, um elevado residual, o qual prejudica a empresa na sua lucratividade, pois está destinando parte de sua matéria-prima para um fim de baixo, ou nenhum lucro. O resíduo, quando adotadas medidas eficientes de gerenciamento, pode-se transformar em matéria-prima, porém com menos valor agregado (OLANDOSKI, 2000).

Ao analisar o planejamento de uma empresa florestal, devem ser levados em consideração vários aspectos, os quais exercem influência no custo de produção total. Fatores como espécie, solo, idade e sítio são importantes e avaliados como regime de manejo.

A manutenção dos equipamentos utilizados na laminação também é um fator muito importante quando se fala em rendimento. Tendo uma boa qualidade de lâmina, as operações sucessivas são facilitadas e resultam em uma melhora na produtividade, assim como o rendimento do material. Ultimamente é cada vez mais comum a utilização de diâmetros pequenos em usinas de laminação, sendo assim existe a obrigação de continuar a busca por ferramentas que permitam deixar roletes cada vez menores.

Um fato relevante é a conicidade, pois se faz muito importante quando se avalia o rendimento da madeira. Esta é caracterizada pela diminuição do diâmetro ao longo do fuste no sentido da base para a copa da árvore. A forma desejável do tronco, para obter um melhor rendimento é a cilíndrica, porém, devido à forma de crescimento e a fatores genéticos assume a aproximação da forma cônica o que ocorre nas idades iniciais. Com o avanço da idade a árvore começa a ter a forma mais cilíndrica. A conicidade pode ser influenciada pelo espaçamento utilizado, tendo como consequência alterações na altura comercial que por sua vez afeta o rendimento da madeira (CHIES, 2005)

De acordo com Sellers *apud* Bonduelle et al. (2004), aspectos relacionados a produtividade com a qualidade da tora, retratibilidade e fator de conicidade de fuste, diâmetro da tora, ausência de fendas de topo e aquecimento da tora são os principais fatores para obtenção de lâminas de qualidade e maior rendimento da laminação.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e descrição da área de estudo

Os dados empregados no presente estudo provêm de um povoamento de *Pinus taeda*, pertencente à Reflorestadora São Miguel, do grupo Santa Maria Papel e Celulose. A empresa está localizada no município de Guarapuava na BR 277 KM 364, região Centro Sul do estado do Paraná, nas coordenadas geográficas latitude 25°23'26" sul e longitude 51°27'15". Encontra-se, em média, a 1098 metros acima do nível do mar. O clima na região é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico, tipo Cfb segundo Köppen- Geiger, com verões frescos, geadas severas e frequentes, sem estação seca.



Fonte: Santa Maria Cia de Papel e Celulose s/a.

Figura 1 - Croqui de localização Empresa Santa Maria Papel e celulose.

## 4.2 Características do povoamento

As florestas de *Pinus taeda* da empresa correspondem a 15.000 hectares. Os dados utilizados no trabalho são referentes às remedições de parcelas permanentes, instaladas em plantios da espécie. Foram coletados na Fazenda Baú com área de 807 ha, em remedições de 63 parcelas permanentes nos anos de 2005, 2008 e 2010, com idades variando entre 5 e 18 anos. Em cada ocasião foram registrados os diâmetros à altura do peito (dap) de todas as árvores da parcela e as alturas das seis maiores árvores da parcela. Os tratos silviculturais aplicados na floresta foram três podas, aos 5, 9 e 14 anos, e dois desbastes, aos 8 e 14 anos. Sendo que, para o povoamento com 9 anos de idade a terceira poda e o segundo desbaste não foram realizados, pois o povoamento ainda não havia atingido condições para isto.

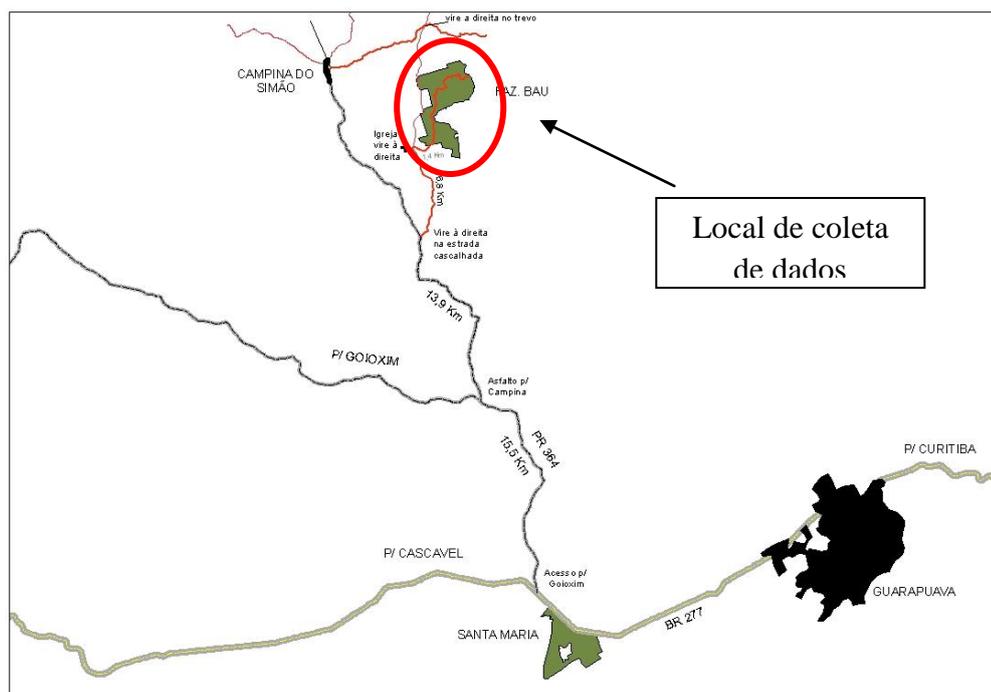


Figura 2 - Croqui de Localização da Fazenda Baú.

As parcelas empregadas são circulares com área de 600 m<sup>2</sup> (13,82m de raio). Para a determinação da altura dominante, a definição usada foi a proposta por Assmann (1961), correspondente a altura média aritmética das 100 árvores mais grossas por hectare, portanto obtidas pela média das alturas totais das seis árvores de maior DAP.

Para as análises de qualidade da madeira foram utilizados dados oriundos da colheita de seis árvores em cada sítio e distribuídas nas seguintes idades: 9, 14 e 20 anos, totalizando 48 árvores coletadas, isso porque o povoamento com 14 anos não apresentou classificação no sítio III.

## 4.2 Modelagem do Crescimento e da Produção

### 4.2.1 Modelos hipsométricos testados

Para estimar a altura total (m) foram testados seis modelos hipsométricos (Tabela 2), os quais incluem como variáveis independentes o dap (cm), a idade (anos), a altura dominante ( $H_{dom}$ ) e o sítio (S). Para tanto foram utilizados dados de alturas totais das árvores distribuídas em todas as parcelas.

Tabela 2. Modelos hipsométricos testados.

| Autor/Fonte                       | Modelo  | Nº Modelo |
|-----------------------------------|---|-----------|
| Curtis (1967)                     | $Ln(h) = \beta_0 + \beta_1 dap^{-1} + \beta_2 I^{-1} + \beta_3(dap I^{-1}) + \varepsilon_i$       | (1)       |
| Schneider <i>et al.</i><br>(1988) | $\frac{dap}{(h - 1,3)} = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2(dap^2) + \beta_3(dap.I) + \varepsilon_i$ | (2)       |
| Nogueira (2003)                   | $h = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 dap + \beta_3 S + \varepsilon_i$                               | (3)       |
| Nogueira (2003)                   | $Ln(h) = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 H_{dom} + \beta_3 dap^{-1} + \varepsilon_i$                | (4)       |
| Campos (1986)                     | $Ln(h) = \beta_0 + \beta_1 dap^{-1} + \beta_2 Ln(H_{dom}) + \varepsilon_i$                        | (5)       |
| Prodan (1968)                     | $\frac{dap^2}{h} = \beta_0 + \beta_1 dap^{-1} + \beta_2 dap^2 + \varepsilon_i$                    | (6)       |

Onde:  $h$ = altura total da árvore (m);  $DAP$ = diâmetro a altura do peito (cm);  $S$ = Índice de Sítio (m);  $H_{dom}$ = altura dominante (m);  $I$ = idade (anos);  $Ln$ = logaritmo neperiano;  $\beta_i$ = parâmetros;  $\varepsilon_i$ = erro aleatório.

Para os modelos linearizados, onde a unidade da variável dependente é o logaritmo neperiano, as estatísticas para sua avaliação foram recalculadas para a unidade original.

#### 4.2.2 Modelos Volumétricos testados

As árvores distribuídas em todas as classes diamétricas e de altura nas idades 12 e 18 anos estão apresentadas na Tabela 3, totalizando 91 árvores cubadas utilizadas para o ajuste dos modelos volumétricos (Tabela 4).

Tabela 3. Distribuição do número de árvores cubadas por classes de diâmetro e altura total

| Centro de classe dap<br>(cm) | Centro de classe<br>h (m) |    |    |    |    |    |    |    |    |    | TOTAL |
|------------------------------|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
|                              | 11                        | 13 | 15 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 31 |       |
| 17,5                         | 2                         | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    | 6     |
| 22,5                         |                           | 2  | 2  |    |    |    |    | 1  |    |    | 5     |
| 27,5                         |                           |    | 4  | 1  | 11 | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 24    |
| 32,5                         |                           |    | 1  | 1  | 6  | 6  | 3  | 4  | 2  | 2  | 25    |
| 37,5                         |                           |    |    |    | 3  | 3  | 3  | 4  | 6  | 3  | 22    |
| 42,5                         |                           |    |    |    |    |    |    | 2  | 1  | 2  | 5     |
| 47,5                         |                           |    |    |    |    |    |    |    | 1  | 3  | 4     |
| Total                        | 2                         | 6  | 7  | 2  | 20 | 12 | 7  | 12 | 12 | 11 | 91    |

As árvores foram cubadas pelo método de Smalian, para tanto foram coletados o diâmetro na base e na parte superior de cada tora, assim como o comprimento da mesma. O comprimento era fixo em 2,63 m, pois é o comprimento utilizado pela laminadora onde foram realizadas as etapas seguintes.

Tabela 4. Modelos testados para estimar o volume (m<sup>3</sup>).

| Autor                  | Modelo  |
|------------------------|---|
| Meyer (1940)           | $v = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \beta_3 dap \cdot h + \beta_4 dap^2 \cdot h + \beta_5 \cdot h + \varepsilon_i$ |
| Meyer modificado(1940) | $v = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \beta_3 dap \cdot h + \beta_4 dap^2 \cdot h + \varepsilon_i$                   |
| Schumacher-Hall (1933) | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln(dap) + \beta_2 \ln(h) + \varepsilon_i$   |
| Spurr (1952)           | $v = \beta_0 + \beta_1 (dap^2 \cdot h) + \varepsilon_i$   |
| Stoate (1945)          | $v = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 \cdot h + \beta_3 h + \varepsilon_i$   |
| Prodan (1944)          | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln(dap) + \beta_2 \ln(dap)^2 + \beta_3 \ln(h) + \beta_4 \ln(h^2) + \varepsilon_i$               |

Onde:  $v$  = volume individual das árvores ( $m^3$ );  $dap$ = diâmetro a altura do peito (cm);  $h$ = altura total (m);  $Ln$ = logaritmo neperiano;  $\beta_i$ = parâmetros a serem estimados;  $\varepsilon_i$ =erro aleatório.

### 4.2.3 Classificação de Sítios

Para a classificação de sítios foram testados cinco modelos, Na Tabela 5 estão apresentados os modelos juntamente com seus respectivos modelos guia e autores, de acordo com Martins et al.(2007). O modelo selecionado foi empregado para construção das curvas de sítio a partir do método da curva-guia.

Tabela 5. Modelos testados para construir curvas de sítio

| Autor            | Modelo   | Modelo Guia  |
|------------------|--|--|
| Schumacher       | $H_{dom} = \beta_0 \cdot \exp\left(\frac{\beta_1}{I}\right)$     | $H_{dom} = S \cdot \exp\left(\beta_1 \cdot \left(\frac{1}{I} - \frac{1}{I_i}\right)\right)$                        |
| Chapman-Richards | $H_{dom} = \beta_0 \cdot [1 - \exp(-\beta_1 \cdot I)]^{\beta_2}$ | $H_{dom} = S \left(\frac{1 - \exp(-\beta_1 I)}{1 - \exp(-\beta_1 I_i)}\right)^{\beta_2}$                           |
| Mitcherlich      | $H_{dom} = \beta_0 - \beta_1 \cdot \beta_2^I$                    | $H_{dom} = S - \beta_1(\beta_2^I - \beta_2^{I_i})$   |
| Silva-Bailey     | $H_{dom} = \beta_0 \cdot \exp(\beta_1 \cdot \beta_2^I)$          | $H_{dom} = S \cdot \exp(\beta_1 \cdot (\beta_2^I - \beta_2^{I_i}))$  |
| Clutter-Jones    | $H_{dom} = \beta_0(1 + \beta_1 I^{\beta_2})^{\beta_3}$           | $H_{dom} = S \cdot \left(\frac{1 + \beta_1 \cdot I^{\beta_2}}{1 + \beta_1 \cdot I_i^{\beta_2}}\right)^{1/\beta_3}$ |

Onde:  $H_{dom}$ = altura médias das árvores dominantes (m);  $I$ = Idade do povoamento (anos);  $I_i$ = idade-índice (anos).

Os modelos não lineares foram ajustados a partir do algoritmo de Marquardt.

Além da construção das curvas de sítios foi elaborada também uma tabela com os limites de altura dominante por sítio, desta forma foi possível classificar as parcelas permanentes e agrupá-las nos respectivos sítios. Esta classificação foi empregada para a seleção das árvores a serem coletadas para a laminação e demais testes. Ou seja, houve uma classificação de todas as parcelas permanentes, seguindo para um sorteio onde foram selecionadas as parcelas que serviriam para coleta das amostras.

#### 4.2.4 Modelos de Crescimento e Produção testados

Para a modelagem do crescimento e produção foram utilizadas 63 parcelas permanentes e testados três modelos (Tabela 6), sendo modelos de produção em função da Idade, em função da idade e sítio e também em função da idade, sítio e área basal.

Tabela 6. Modelos testados para projeção do Crescimento e Produção

| Autor          | Modelo  |
|----------------|---|
| Schumacher     | $\ln V = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \varepsilon_i$   |
| Schumacher     | $\ln V = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I \cdot S} + \varepsilon_i$   |
| Clutter (1963) | $\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{I_2} \right) + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln G_2 + \varepsilon_i$ $\ln G_2 = \ln G_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \varepsilon_i$ |

Em que:  $V_2$  = Volume ( $m^3/ha$ ) na idade 2;  $G_1$  = Área Basal ( $m^2/ha$ ) na idade 1;  $G_2$  = Área Basal ( $m^2/ha$ ) na idade 2;  $S$  = Índice de sítio (m);  $I$  = Idade (anos);  $I_1$  = Idade 1 (anos);  $I_2$  = Idade 2 (anos);  $\beta_i$  e  $\alpha_i$  = parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

O sistema de equações do modelo de Clutter foi ajustado simultaneamente, empregando o método dos mínimos quadrados em dois estágios, para isso, utilizou-se um *software* estatístico. Além do ajuste dos modelos foram também construídas tabelas de produção para os respectivos modelos.

#### 4.2.5 Seleção dos Modelos testados

Todos os modelos foram testados avaliando-se o Coeficiente de Determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ), Erro Padrão da estimativa relativo ( $S_{yx}\%$ ) e análise gráfica dos resíduos. O Coeficiente de determinação foi ajustado para que exista base de comparação entre os modelos, visto que o número de coeficientes e a variável dependente são diferentes entre eles. A acurácia e estabilidade das curvas também foram testadas, por meio da representação gráfica dos valores observados sobre as curvas. O modelo de Clutter foi também avaliado com relação ao realismo biológico. Em todos os casos em que a variável dependente não é a variável de interesse pertinente

o erro padrão de estimativa e o Coeficiente de Determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) foram recalculado.

### **4.3 Influência do Sítio e da Idade nas propriedades físicas da madeira**

#### **4.3.1 Determinação da massa específica da madeira**

Foram selecionadas árvores nos três sítios classificados no item 4.2.3 e nas três idades de plantio, escolhidas com base em avaliações dendrométricas e distribuídas em três classes de dap. Foram amostradas árvores existentes nas parcelas circulares. Em cada idade foram amostradas 18 árvores, distribuídas nos três sítios florestais. No entanto, no povoamento de 14 anos de idade não houve classificação em sítio III, reduzindo a coleta para seis árvores, totalizando uma amostra de 48 árvores. Os tratamentos silviculturais aplicados nos povoamentos foram iguais exceto para o plantio de 2003, onde não foi realizada a terceira poda, pois a empresa, a partir daquela data, alterou seu plano de manejo, não fazendo mais podas nem desbastes em seus plantios.

Foram coletados três discos sem casca por árvore, retirados da extremidade superior de cada tora. As toras tiveram um comprimento fixado em 2,63 m, essas medidas foram estabelecidas devido ao tamanho do torno onde as toras seriam laminadas. Os discos foram devidamente identificados e encaminhados para o laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira na Universidade Estadual do Centro-Oeste- UNICENTRO, onde procedeu ao corte dos corpos-de-prova. De cada disco foram retiradas duas cunhas diametralmente opostas, com ângulo de 30° e dimensões variando de acordo com o tamanho do disco. Os discos eram de diferentes alturas, portanto diferentes diâmetros variando, conseqüentemente, o tamanho dos corpos-de-prova.

A massa específica básica da madeira de cada corpo-de-prova foi determinada pelo método da balança hidrostática, seguindo as orientações da Norma Brasileira de Regulamentação (NBR) 11.941 Madeira – Determinação da Densidade (ABNT, 2003).

A massa seca foi determinada mantendo-se os corpos-de-prova em estufa a 103°C até que a massa se encontrasse constante. Já o volume saturado foi determinado deixando os corpos-de-prova imersos em água até atingirem peso constante, que foi em torno de 30 dias (Figura 3).



Figura 3 - Tanque para saturação de corpos-de-prova.

A massa seca ( $m_s$ ) foi determinada em balança com precisão de 0,1g (Figura 4).

Tendo conhecida a massa seca ( $m_s$ ) e o volume saturado ( $v_{sat}$ ) determinou-se a massa específica básica da madeira através da seguinte expressão:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{v_{sat}} \quad (1)$$

Em que:

$\rho_{bas}$ = massa específica básica ( $g/cm^3$ );

$m_s$ = massa seca (g);

$v_{sat}$ = volume saturado.



(a)



(b)

Figura 4 - Balança de precisão para determinação de volume do corpo-de-prova (a); corpo-de-prova saturado imerso em água para determinação do volume (b).

O fluxograma com a sequência de operações realizadas está apresentado na Figura 5.

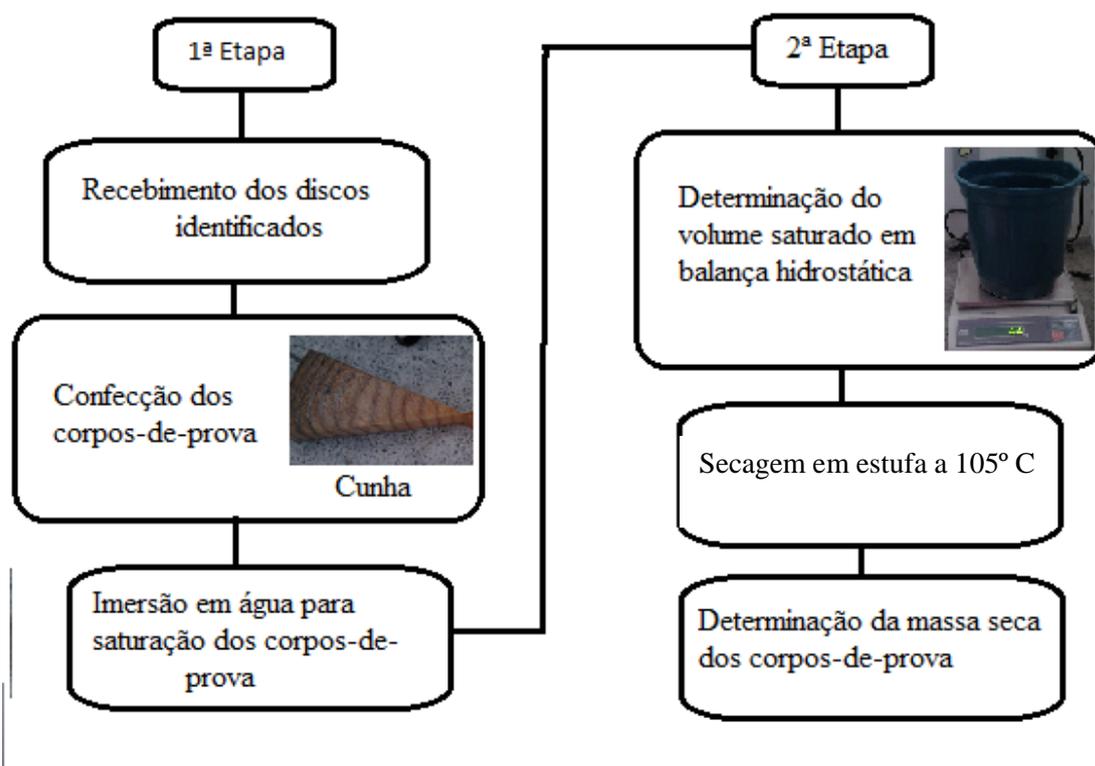


Figura 5 - Fluxograma do procedimento para determinação da massa específica da madeira.

#### 4.3.2 Estabilidade dimensional da madeira

A retratibilidade expressa a variação total ocorrida na madeira, porém, na maioria das vezes as variações lineares são tão importantes quanto a total. No presente trabalho foi utilizada a soma da variação tangencial e a radial, conforme metodologia utilizada por vários autores. Um exemplo de metodologia utilizada foi a empregada por Klock (1989), onde o autor considerou como retratibilidade volumétrica a soma da retratibilidade tangencial e radial.

Os mesmos discos utilizados na confecção das cunhas para determinação da massa específica da madeira foram empregados para retirada dos corpos-de-prova de cada seção, de tamanho variado e forma retangular, para determinação da retratibilidade dimensional. Portanto, de um mesmo disco foram retirados 4 corpos-de-prova, onde 2

seguiram para determinação da massa específica básica e os outros 2 para determinação na contração.

Os corpos-de-prova foram submetidos à imersão em água por um período de 30 dias, até atingirem absorção d'água acima do ponto de saturação das fibras (PSF). Em seguida foram tomadas as dimensões nos sentidos radial, tangencial e longitudinal, com o auxílio de um paquímetro digital de 0,01 mm de precisão. Após aferidas as medidas, os mesmos corpos-de-prova, devidamente enumerados de acordo com a árvore, sítio e idade, foram submetidos à secagem.

A secagem foi realizada em estufa com circulação de ar a uma temperatura inicial de 80°C, aumentando gradativamente até atingir 105°C. A secagem foi feita até que os corpos-de-prova atingissem um peso constante (Figura 6).



Figura 6 - Corpos-de-prova completamente secos, recém-retirados da estufa.

Para os cálculos de contração, nos sentidos radial e tangencial, foi usada a fórmula 2 e 3, de acordo com a ABNT- NBR 7190.

$$\beta_{tangencial} = \left( \frac{L_{sat} - L_{seco}}{L_{sat}} \right) * 100 \quad (2)$$

$$\beta_{radial} = \left( \frac{L_{sat} - L_{seco}}{L_{sat}} \right) * 100 \quad (3)$$

$$\sum \beta_t + \beta_r = \beta_{Volumétrica \ total}$$

R= contração (%);

$L_{sat}$  = largura da amostra saturada (cm);

$L_{\text{seco}}$  = largura da amostra seca (cm).

### 4.3.3 Coeficiente de Anisotropia

A anisotropia, assim como a retratibilidade da madeira, são características não desejadas, pois afetam consideravelmente o emprego da mesma na indústria. O coeficiente de anisotropia trata-se do gradiente de variação da estabilidade dimensional entre os sentidos tangencial e radial da madeira. Sendo estes, segundo Moreira (1990) os sentidos que expressam a maior variação.

Portanto, o coeficiente de anisotropia foi determinado através da seguinte fórmula:

$$A = \frac{\beta_t (\%)}{\beta_r (\%)} \quad (4)$$

em que:

A= Coeficiente de Anisotropia;

$\beta_t$  = contração tangencial (%);

$\beta_r$  = contração radial (%).

### 4.3.4 Rendimento na Laminação

Para produção das lâminas, foram coletadas seis árvores para cada sítio em três idades. Foram analisados três sítios florestais e três idades diferentes, exceto o plantio com 14 anos que não foi possível coletar dados no sítio III, pois apresentou somente a classificação para sítio I e II. Na Figura 7 observam-se as toras na beira do talhão, separadamente de acordo com sítio.

Das árvores, foram retiradas as duas primeiras toras, exceto no povoamento de nove anos (plantio 2003), onde em algumas árvores a segunda tora não atingiu o diâmetro mínimo de laminação de 18 cm. A metodologia utilizada foi adaptada de Gaiotto (1993). Foram coletadas 84 toras para serem laminadas.



Figura 7 - Toras processadas na beira do talhão.

No processo de laminação, as toras com casca permaneceram durante 24 horas no tanque de cozimento, à temperatura de aproximadamente 80°C. Para o cálculo de rendimento na laminação, procedeu-se a cubagem das toras com casca antes da laminação. Posteriormente, as toras foram torneadas até a total remoção da casca, visando torná-las cilíndricas. As toras seguiram para a roleteira que permitiu laminar até 4,5 cm de diâmetro.

À medida que foi se formando o tapete de lâmina pela roleteira (Figura 8), a guilhotina já fez o seu seccionamento no tamanho determinado pela empresa. Neste caso, as lâminas apresentaram as dimensões de 1,38 m x 2,63 m x 2 mm. Após o desenrolamento e a guilhotinagem, procedeu-se a seleção das lâminas em dois grupos, lâminas de capa e lâminas de miolo. A seleção foi realizada com base nos seguintes critérios: número de nós, fendas até a metade da largura da lâmina e rachadura completa na lâmina. Após, realizou-se a contagem do número de lâminas de capa para cada tora.



Figura 8 - Tapete de Lâmina saindo antes da guilhotinagem.

O processo de laminação foi dividido em duas etapas de perdas, sendo: a) ocorridas no descascamento e arredondamento e b) rolo resto: cilindro de madeira resultante do processo de laminação, também denominado de tolete (Figura 9).



(a)



(b)

Figura 9 - Descascamento da tora em Torno desenrolador (a); Toras descascadas seguindo para roleteira (b).

Quanto às perdas do descascamento e arredondamento, correspondem basicamente ao efeito da conicidade e defeitos na forma na tora (Figura 9a), os quais, por sua vez, podem ou não ser afetados pela qualidade do sítio. Já as perdas relacionadas ao rolo resto são dependentes do equipamento utilizado (Figura 9b). No

presente trabalho não foram consideradas influências relacionadas às condições operacionais do equipamento.

A determinação do rendimento seguiu os critérios da proposta de Gaiotto (1993), adaptados. Foram coletadas medidas do comprimento e diâmetro com casca da tora antes e logo após o arredondamento, assim como o diâmetro do rolo resto. Com estes dados procederam-se os cálculos pelas diferenças entre cada etapa, resultando nos rendimentos.

Para o cálculo de volume laminado da tora ( $V_L$ ), foram utilizadas as fórmulas 5, 6 e 7. Na Figura 9 esquematiza a forma com que foram considerados os volumes em cada porção da tora

$$V_{lam} = V_{cilindro} - V_{RR} \quad (5)$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times L \quad (6)$$

$$V_{Lam} = V_{capa} - V_{miolo} \quad (7)$$

Onde:

$V_{lam}$  = volume laminado ( $m^3$ );

$V_{cilindro}$  = volume da tora arredondada ( $m^3$ );

$V_{RR}$  = volume do rolo resto ( $m^3$ ).

D= diâmetro da tora após arredondamento (m);

L= comprimento da tora (m).

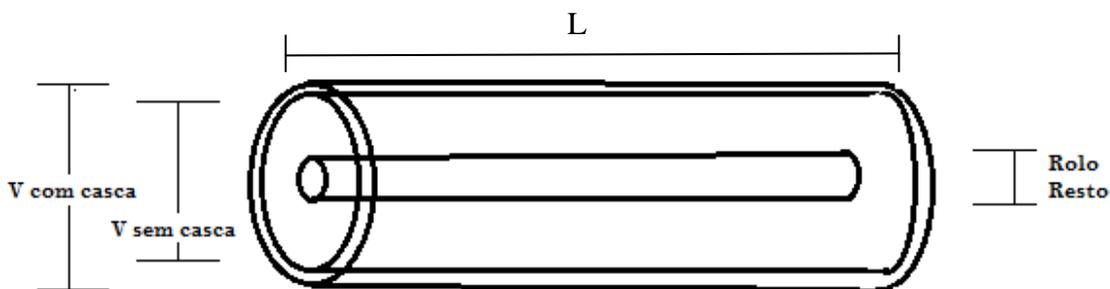


Figura 9 - Esquema para cálculo de rendimento de laminação.

O cálculo de perdas ocorridas no descascamento e arredondamento foi realizado pelas equações 8 e 9:

$$V_{PA} = V_t - V_a \quad (8)$$

$$V_t = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) L \quad (9)$$

Onde:

$V_{PA}$  = volume de perdas por arredondamento e descascamento (m<sup>3</sup>);

$V_t$  = volume inicial da tora (m<sup>3</sup>);

$V_a$  = volume da tora arredondada (m<sup>3</sup>);

$g_1$  = área seção transversal 1 (m<sup>2</sup>);

$g_2$  = área seção transversal 2 (m<sup>2</sup>).

Ainda, foi considerado o volume de lâmina de miolo (VL2 – fórmula 10), sendo estas as lâminas com algum tipo de falha, mas que podem ser usadas no interior do compensado.

$$V_{L2} = V_L - V_{LA} \quad (10)$$

Onde:

$V_{L2}$  = volume de lâmina de miolo (m<sup>3</sup>);

$V_L$  = volume laminado (m<sup>3</sup>);

$V_{LA}$  = volume de lâmina de capa (m<sup>3</sup>).

Para obtenção dos percentuais de perdas ocorridas em cada etapa do processo, considerou-se o volume da tora com casca ( $V_t$ ) como 100%. Tendo obtido os volumes, procederam-se os cálculos de porcentagem de perdas. A equação usada para determinação do rendimento efetivo (RE – fórmula 11) foi:

$$RE = V_{L2} + V_{LA} \quad (11)$$

Onde:

RE = rendimento efetivo (%);

$V_{L2}$  = porcentagem do volume de lâmina de miolo;

$V_{LA}$  = porcentagem do volume de lâmina de capa.

A classificação de lâmina de capa foi feita levando em consideração a presença ou não de nós na madeira, o número de fendas e se esta estava seccionada ou não. Quando a lâmina não era seccionada, ou seja, saiu na medida exata já mencionada anteriormente e teve menos de 4 fendas esta foi classificada como de capa. As fendas também não poderiam ser maiores do que metade da largura da lâmina.

#### 4.3.5 Análise estatística

O modelo experimental consistiu de 8 tratamentos e 6 repetições (Tabela 7). Como tratamentos foram considerados os sítios e as idades, e as repetições foram as árvores. Para verificação da homogeneidade das variâncias foi realizado o teste de *Bartlett*, ao nível de 5% de probabilidade de erro. A avaliação estatística foi realizada considerando o delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial, com dois fatores, sendo fator 1=sítio (três níveis) e fator 2 = idade (três níveis). A partir do resultado do teste de *Bartlett*, procedeu-se a análise de variância (ANOVA). Quando a hipótese de nulidade da ANOVA foi rejeitada, as médias foram comparadas também a um nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste *Tukey*. As variáveis analisadas foram: rendimento efetivo, rendimento em lâmina de capa e rendimento em lâmina de segunda.

Tabela 7. Tratamentos empregados para os testes estatísticos.

| Tratamento     | Sítio | Idade |
|----------------|-------|-------|
| T <sub>1</sub> | I     | 20    |
| T <sub>2</sub> | I     | 14    |
| T <sub>3</sub> | I     | 09    |
| T <sub>4</sub> | II    | 20    |
| T <sub>5</sub> | II    | 14    |
| T <sub>6</sub> | II    | 09    |
| T <sub>7</sub> | III   | 20    |
| T <sub>8</sub> | III   | 09    |

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Modelagem do Crescimento e Produção

#### 5.1.1 Equações hipsométricas

Na Tabela 8 estão apresentados os modelos ajustados para estimativa da altura total das árvores, juntamente com suas respectivas estatísticas. Pode-se observar que o coeficiente de determinação ajustado variou de 0,90 a 0,98 e o erro padrão da estimativa variou de 7,7 a 14%. O ajuste foi considerado adequado para estimativa das alturas. Quando comparado com resultados encontrados por Barros (2000) para *Pinus oocarpa*, com 8 anos de idade, os valores de R<sup>2</sup> ajustado foram superiores. Todos os modelos testados apresentaram erros padrões inferiores a 8%, com exceção dos dois modelos de Prodan. De acordo com os critérios analisados, o modelo hipsométrico selecionado foi o modelo testado por Nogueira (2003b).

Tabela 8. Modelos hipsométricos ajustados para estimativa da altura total com suas respectivas estatísticas.

| Autor/Fonte      | Equações   | R <sup>2</sup> <sub>ajust</sub> | S <sub>yx</sub> % |
|------------------|--|---------------------------------|-------------------|
| Curtis (1967)    | $Ln(h) = 3,731 - 4,674 dap^{-1} - 6,637I^{-1} - 6,115(dap I^{-1}) + \varepsilon_i$       | 0,9069                          | 8,0               |
| Prodan. (1965)   | $\frac{dap^2}{(h-1,3)} = 6,615 + 1,821dap + 0,032(dap^2) - 0,078(dap.I) + \varepsilon_i$ | 0,9859                          | 12,3              |
| Nogueira (2003a) | $h = -2,736 + 1,095I + 0,102dap + 0,198 S + \varepsilon_i$                               | 0,9141                          | 7,7               |
| Nogueira (2003b) | $Ln(h) = 2,133 - 0,014 I + 0,059 H_{dom} - 5,657 dap^{-1} + \varepsilon_i$               | 0,9742                          | 4,2               |
| Campos (1986)    | $Ln(h) = 0,445 + 5,305 dap^{-1} + 0,904 Ln(H_{dom}) + \varepsilon_i$                     | 0,9659                          | 4,8               |
| Prodan (1968)    | $\frac{dap^2}{h} = 12,656 + 0,047dap + 0,031dap^2 + \varepsilon_i$                       | 0,9112                          | 14,2              |

Em que:  $h$ = altura total (m);  $I$ = Idade (anos);  $Ln$ = logaritmo neperiano;  $dap$ = diâmetro a altura do peito;  $H_{dom}$ = altura dominante;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

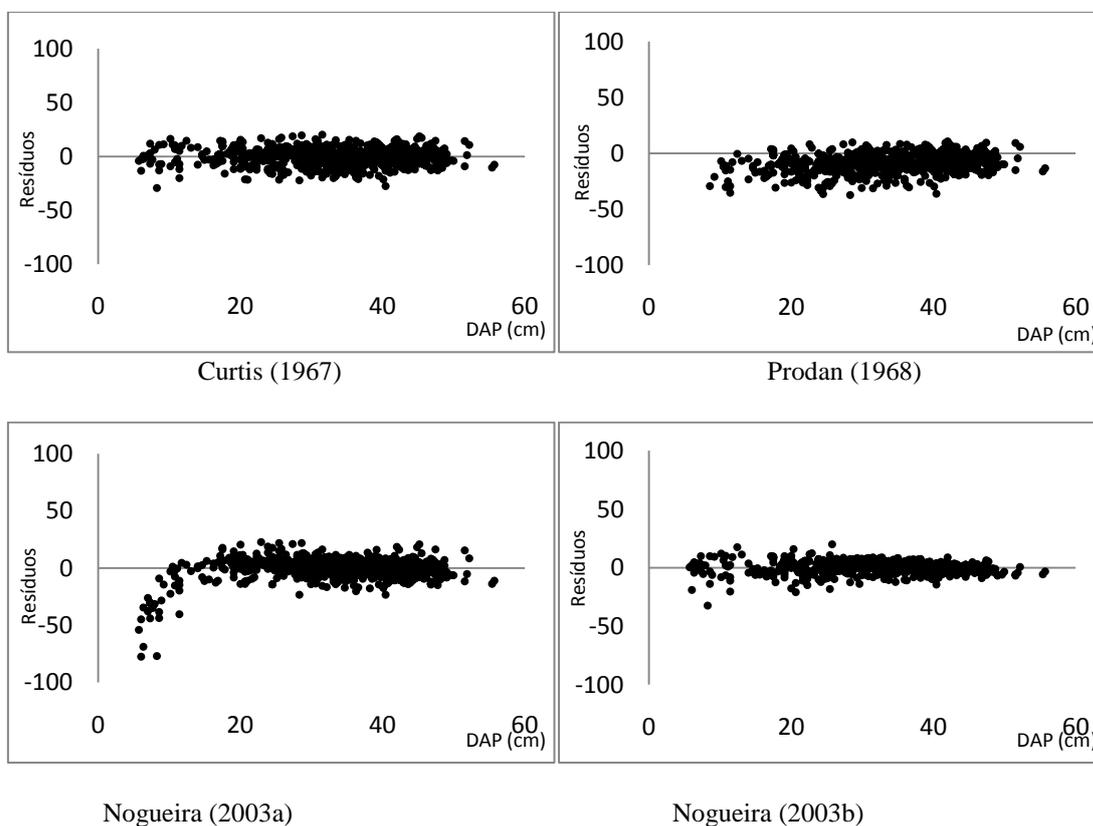
A variação encontrada nos coeficientes de determinação dos modelos é justificada pelas diferenças existentes entre os povoamentos analisados. Essas diferenças são basicamente a variação de idade e sítio. Vale ressaltar que os modelos

que apresentaram maiores coeficientes de determinação também foram os que apresentaram os maiores erros padrões.

Em estudos realizados com o mesmo gênero, pode-se observar que o coeficiente de determinação manteve-se baixo em idades superiores a 15 anos. De acordo com Machado et al. (1996) isso explica-se pela alta homogeneidade dos dados, principalmente nas alturas. Sendo justificada pela baixa correlação entre o diâmetro e a altura das árvores remanescentes de povoamentos submetidos a desbastes.

Na Figura 10 estão apresentados os gráficos de distribuição de resíduos dos modelos descritos na Tabela 8. Pode-se observar que os modelos de Curtis (1967), Campos (1986) e Nogueira (2003b) foram os que apresentaram melhor distribuição de resíduos. Todavia, o modelo de Nogueira (2003a) apresentou tendência em superestimar nas classes de diâmetros iniciais como pode ser observado na Figura 10. No entanto o modelo de Prodan apresentou comportamento adverso, subestimando nas classes iniciais e passando a superestimar na classes seguinte, porém, estabilizando nas últimas classes de diâmetro.

Sendo assim o modelo escolhido para as estimativas foi o de Nogueira (2003b), mesmo não sendo o modelo que apresentou o maior  $R^2$ , foi o modelo que apresentou o menor  $S_{yx} \%$  e uma distribuição de resíduos sem tendências.



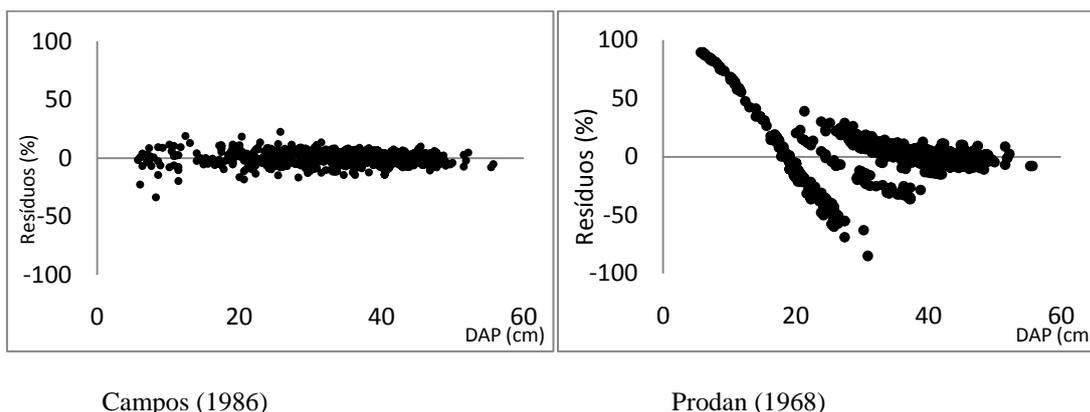


Figura 10 - Distribuição de resíduos para os modelos hipsométricos testados.

Como citado na metodologia, os modelos foram selecionados através das estatísticas apresentadas anteriormente e complementada com a análise gráfica acima descrita. Pois embora os índices de ajuste e precisão indiquem que os modelos foram ajustados razoavelmente bem, a análise gráfica dos resíduos indica se há tendenciosidade nas estimativas das alturas.

Ao analisar as estatísticas encontradas para cada modelo específico, pode-se observar que modelos matemáticos relativamente mais simples, também demonstraram eficiência na estimativa da altura. O modelo testado por Curtis (1967) se enquadra neste caso, pois embora não tenha apresentado o maior valor no coeficiente de determinação (0,9069), seu desempenho foi bom, com erro padrão baixo (8%) e boa distribuição de resíduos, ou seja, sem tendências.

### 5.1.2 Equações volumétricas

Na Tabela 9 estão apresentados os modelos com os respectivos coeficientes, ajustados para estimativa dos volumes individuais das árvores, assim como seus respectivos valores de coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa.

Tabela 9 Modelos volumétricos ajustados para estimativa do volume total com casca individual das árvores, com suas respectivas estatísticas.

| Autor                   | Equações  | R <sup>2</sup> <sub>Ajust</sub> | S <sub>yx</sub> % |
|-------------------------|---|---------------------------------|-------------------|
| Meyer (1940)            | $v = 0,138 - 0,0017 dap - 0,0017 dap^2 + 0,0016dap.h + 0,000017 dap^2.h - 0,0267.h$ | 0,9723                          | 9,28              |
| Meyer modificado (1940) | $v = -0,3115 + 0,0265 dap - 0,0006 dap^2 + 0,00005dap.h + 0,000041 dap^2.h$         | 0,9712                          | 9,24              |
| Schumacher- Hall (1933) | $\ln v = -10,1339 + 1,8024 \ln(dap) + 1,1850 \ln(h)$                                | 0,9951                          | 9,45              |
| Spurr (1952)            | $v = 0,041 + 0,000034 (dap^2.h)$  | 0,9665                          | 10,21             |
| Stoate (1945)           | $v = -0,1153 - 0,000025dap^2 + 0,00003dap^2h + 0,0106h$                             | 0,9710                          | 9,49              |
| Prodan (1944)           | $\ln v = -10,1339 + 0,9012 \ln(dap)^2 + 0,5925 \ln(h^2)$                            | 0,9716                          | 9,45              |

Em que: v= volume individual; Ln= logaritmo neperiano; dap= diâmetro a altura do peito; h= altura total (m);  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

Na Tabela 9 pode-se observar que houve uma variação no coeficiente de determinação de 0,96 a 0,99 e o erro padrão da estimativa variou de 9,24 % a 10,21 %. De acordo com essas estatísticas pode-se concluir que o modelo que melhor ajustou-se aos dados foi o modelo testado por Schumacher-Hall (1933). As estatísticas para variável dependente foram recalculadas para a unidade m<sup>3</sup>.

Pela análise gráfica dos resíduos (Figura 11) pode-se observar a tendência gerada pelo modelo de Spurr (1952), superestimando nas primeiras classes de diâmetro. Para os modelos de Meyer modificado (1940) e Stoate (1945) existiu tendência em subestimar nas classes iniciais. Os modelos de Meyer (1940), Schumacher-Hall (1933) e Prodan (1944) apresentaram uma boa distribuição de resíduos, sendo o modelo de Schumacher-Hall (1933) escolhido para estimar os volume individuais. Devido ao fato de apresentar um coeficiente de determinação levemente maior. Mesmo não apresentando o menor erro padrão da estimativa foi o modelo escolhido, pois o modelo de Meyer modificado (1940), que teve o menor erro também apresentou uma distribuição de resíduos ruim e um R<sup>2</sup><sub>ajust</sub> menor.

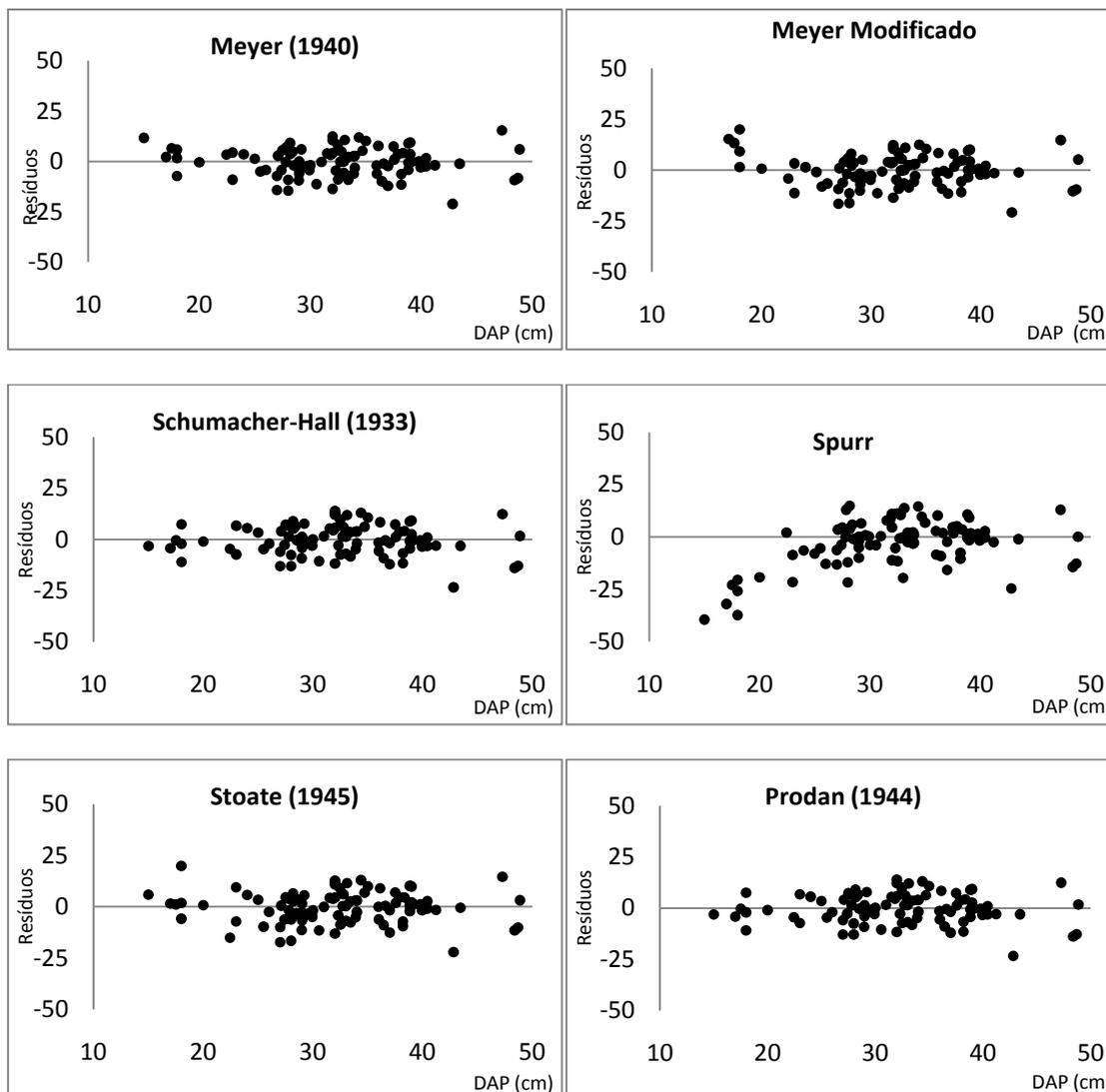


Figura 11 - Distribuição de resíduos para a variável volume total com casca (m<sup>3</sup>).

Com base nas análises estatísticas acima descritas, foi verificado que o modelo com melhor ajuste aos dados foi o modelo 3 (Schumacher-Hall). Sendo este o que obteve o menor  $R^2_{ajus}$  e com distribuição de resíduos homogênea. Pelissa et al. (2011) encontrou valores semelhantes para o modelo de Schumacher-Hall em estudos realizados com diferentes espécies de *Pinus* tropicais. Os autores encontraram valores de  $R^2_{ajus} = 0,99$  e  $S_{yx} = 5,74\%$  sendo portanto satisfatórios para a estimativa do volume. Miguel (2010) encontrou resultados da análise gráfica dos resíduos com leve tendência nos valores inferiores, mas assim como neste trabalho, o coeficiente de determinação encontrado foi baixo. Kohler et al. (s/a) encontraram valores parecidos em ajuste do modelo de Schumacher-Hall linearizado para espécie de *Pinus taeda* na região centro-sul do estado do Paraná.

### 5.1.3 Classificação de sítios

Na Tabela 10 estão apresentados os modelos ajustados para estimativa das alturas dominantes. Pode ser observado que o  $R^2_{ajust}$  variou de 0,69 a 0,90 e o  $S_{yx}$  de 1% a 8%. Sendo que os valores de  $R^2_{ajus}$  dos modelos de Schumacher, Chapman-Richards, Silva-Bailey e Clutter-Jones apresentaram números relativamente próximos com uma leve diminuição para o modelo de Schumacher. Para estas estimativas foi selecionado o modelo de Silva-Bailey por ter apresentado o maior coeficiente de determinação e também o menor erro padrão da estimativa.

Tabela 10. Modelos ajustados para classificação em classes de sítio.

| Autor            | Equações  | $R^2_{ajust}$ | $S_{yx}$ % |
|------------------|---|---------------|------------|
| Schumacher       | $h_{dom} = 3,6410 \cdot \exp\left(\frac{-7,7331}{l}\right)$               | 0,8644        | 7,6706     |
| Chapman-Richards | $h_{dom} = 53,1495 \cdot [1 - EXP(-0,0385 \cdot l)]^{1,0350}$             | 0,9000        | 4,8622     |
| Mitcherlich      | $h_{dom} = \beta_0 - \beta_1 \cdot \beta_2^l$                             | 0,6992        | 8,4353     |
| Silva e Bailey   | $h_{dom} = 36,1454 \cdot \exp\left(\frac{-2,4081 \cdot 0,8959}{l}\right)$ | 0,9021        | 1,0250     |
| Clutter-Jones    | $h_{dom} = 1780,03(1 - 0,1167l^{-0,1703})^{57,096}$                       | 0,8994        | 4,8818     |

A distribuição de resíduos foi plotada em relação à idade do povoamento. Esta pode ser avaliada na Figura 12 para os 5 modelos testados. A análise gráfica dos resíduos indica que os modelos 1, 2 e 5 apresentaram uma leve tendência de superestimativa. No entanto, o modelo 3 mostrou-se tendencioso a subestimar, assim como o modelo 4 (Silva e Bailey), porém, com uma tendência menor, sendo este o escolhido para as estimativas. Observa-se que na idade aproximada de 10 anos há leve tendência de superestimativa para todos os modelos, o que para as idades posteriores volta a uma distribuição uniforme. O modelo de Silva e Bailey foi o escolhido por apresentar melhores estatísticas e com menor tendência na distribuição de resíduos apresentando melhor distribuição dentre a variação de diâmetros.

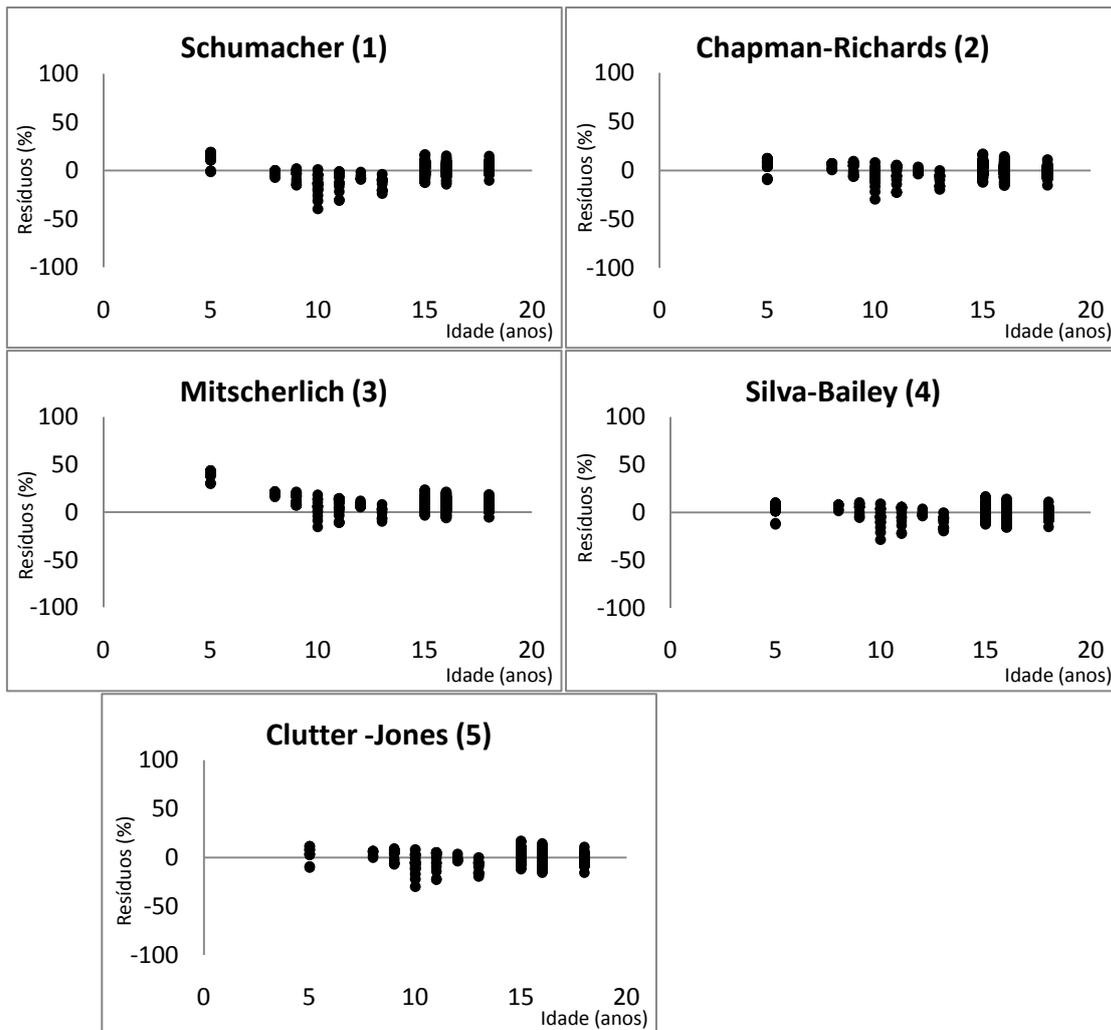


Figura 12- Distribuição de resíduos para os modelos de sítio.

### 5.1.3.1. Construção das curvas de sítio

O número de classes está diretamente relacionado com o intervalo que se pretende obter e à amplitude dos valores observados. No Brasil, em geral, tem-se adotado 5 classes de sítio para o gênero *Pinus*. No presente trabalho foram estabelecidas três classes de sítio com intervalo de 5 m (Figura 13 e Tabela 11) entre si.

Para gerar as curvas de sítio, o modelo de Silva e Bailey foi rearranjado com relação ao índice de sítio, assumindo a forma de modelo-guia. Com o auxílio deste modelo pode ser gerada as curvas de sítio, como apresentado na Figura 13.

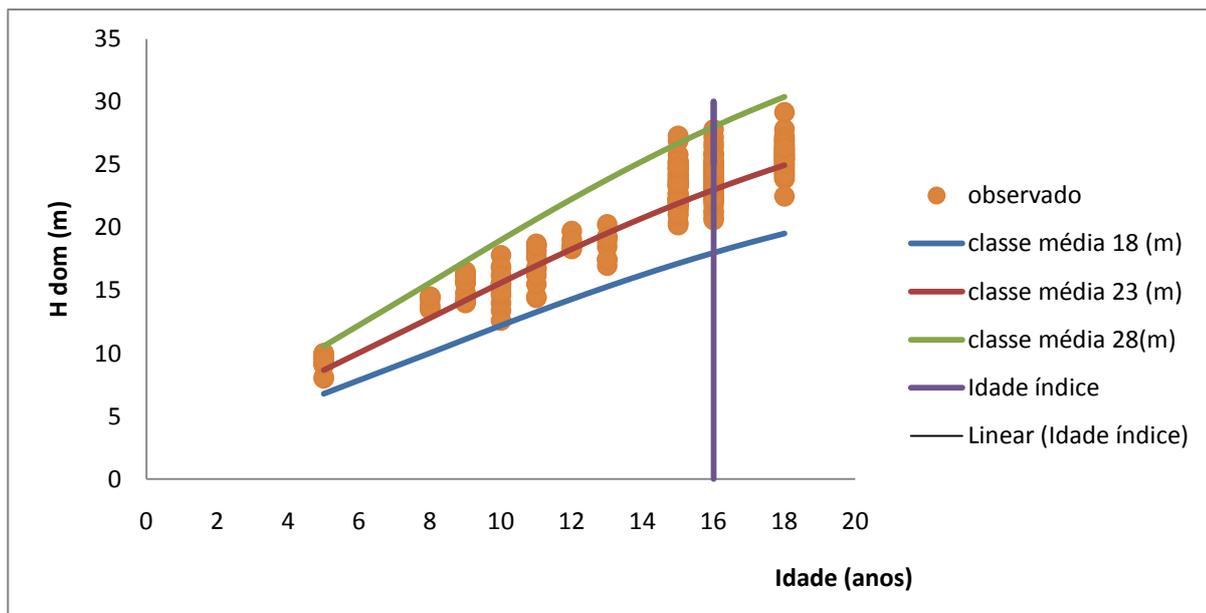


Figura 13 - Curvas de sítio geradas pelo modelo Silva e Bailey.

Os limites de altura dominante para as curvas de sítio estão apresentados na Tabela 11, onde foram classificados em três sítios florestais. Tendo-se as curvas de sítio, fez-se a classificação de sítio de todas as parcelas, necessária para o ajuste dos modelos de produção. Esta classificação também foi usada para a amostragem dos parâmetros tecnológicos.

Tabela 11 - Limites de altura dominante para as classes de sítio I, II e III.

| Idade (anos) | Índice de Sítio 28 m (I) |        | Índice de Sítio 23 m (II) |        | Índice de Sítio 18 m (III) |        |      |   |      |
|--------------|--------------------------|--------|---------------------------|--------|----------------------------|--------|------|---|------|
|              | Índice                   | Limite | Índice                    | Limite | Índice                     | Limite |      |   |      |
| 5            | 9,6                      | -      | 11,5                      | 7,7    | -                          | 9,5    | 5,8  | - | 7,6  |
| 8            | 14,2                     | -      | 16,9                      | 11,4   | -                          | 14,1   | 8,6  | - | 11,3 |
| 9            | 15,7                     | -      | 18,8                      | 12,6   | -                          | 15,7   | 9,5  | - | 12,6 |
| 10           | 17,3                     | -      | 20,7                      | 13,9   | -                          | 17,2   | 10,5 | - | 13,8 |
| 11           | 18,8                     | -      | 22,5                      | 15,1   | -                          | 18,7   | 11,4 | - | 15,0 |
| 12           | 20,2                     | -      | 24,2                      | 16,3   | -                          | 20,1   | 12,3 | - | 16,2 |
| 13           | 21,6                     | -      | 25,9                      | 17,4   | -                          | 21,5   | 13,1 | - | 17,3 |
| 14           | 23,0                     | -      | 27,5                      | 18,5   | -                          | 22,9   | 13,9 | - | 18,4 |
| 15           | 24,2                     | -      | 29,0                      | 19,5   | -                          | 24,2   | 14,7 | - | 19,4 |
| 16           | 25,5                     | -      | 30,5                      | 20,5   | -                          | 25,4   | 15,5 | - | 20,4 |
| 17           | 26,6                     | -      | 31,8                      | 21,4   | -                          | 26,5   | 16,1 | - | 21,3 |
| 18           | 27,6                     | -      | 33,1                      | 22,2   | -                          | 27,5   | 16,8 | - | 22,1 |

Scolforo e Machado (1988) encontraram valores semelhantes aos apresentados nesta pesquisa, para a mesma espécie estudada. Assim como em Oliveira (1990) o coeficiente de determinação e erro padrão da estimativas apresentaram bons resultados para *Pinus taeda* no sul do Brasil.

#### 5.1.4 Modelos de Crescimento e Produção

Os modelos ajustados e seus respectivos coeficientes estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Modelos de crescimento e produção ajustados com suas respectivas estatísticas.

| Autor                | Equações  | R <sup>2</sup> ajust | S <sub>yx</sub><br>(m <sup>3</sup> /ha) | S <sub>yx</sub><br>(%) |
|----------------------|---|----------------------|---|------------------------|
| Schumacher<br>(1939) | $Ln V = 6,8551 - \frac{10,4135}{I}$   | 0,6077               | 103,883                                 | 21,9                   |
|                      | $Ln V = 6,826 - \frac{232,255}{I.S}$  | 0,5073               | 116,421                                 | 24,6                   |
| Clutter (1963)       | $LnV_2 = 5,7107 - 10,2189\left(\frac{1}{I_2}\right) - 0,0117S_1$<br>$+ 0,3674LnG_2$   | 0,9574               | 108,471                                 | 23,7                   |
|                      | $LnG_2 = LnG_1\left(\frac{I_1}{I_2}\right) + 4,7425\left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$<br>$- 0,0116\left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)S_1$ | 0,8741               |   | 5,93                   |

Em que: V2 = Volume (m<sup>3</sup>/ha) na idade 2; G1 = Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) na idade 1; G2 = Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) na idade 2; S = Índice de sítio (m); I = Idade (anos); I1 = Idade 1 (anos); I2 = Idade 2 (anos); β<sub>i</sub> e α<sub>i</sub> = parâmetros do modelo.

Para o primeiro modelo foi encontrado um R<sup>2</sup><sub>ajust</sub> de 0,6077 considerado baixo, quando comparado com o trabalho de Wolff II (2012), realizado com *Pinus taeda* L. de 7 a 20 anos, localizados na região centro sul do estado do Paraná. Porém Campos (1980) encontrou valores semelhantes para ajustes de modelos para *Pinus patula*. Quanto ao modelo f (I, S) seu coeficiente de determinação foi de 0,5073, semelhante ao encontrado por Wolff II (2012) com um R<sup>2</sup> 0,5894, no entanto o erro padrão da estimativa encontrado pelo autor foi maior sendo de 45,24%.

Nascimento (2010) em seu trabalho com *Pinus taeda* L. encontrou melhores valores sendo um melhor ajuste do modelo de Clutter, onde o  $R^2$  0,99 e  $S_{yx}\%$  de 6,13%. Já o resultado obtido por Wolff II (2012) foi mais semelhante com esta pesquisa. O mesmo encontrou um  $R^2$  0,9779 e  $S_{yx}\%$  10,66%.

Os valores de coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa relativo, para a equação de produção foram 0,9574 e 23,7%, respectivamente. Sendo os valores destas mesmas estatísticas para a equação de área basal 0,8767 e 5,93

## 5.2 Influência do Sítio e da Idade nas propriedades físicas da madeira

### 5.2.1 Massa específica básica da madeira

Na Tabela 13 estão apresentados os valores das médias da massa específica básica para cada fator separadamente, assim como a análise de variância dos fatores e da interação.

Tabela 23 - Média e Análise de Variância da massa específica básica da madeira de *Pinus taeda* em função do sítio e da idade

| Fatores                   | Níveis                 | Média (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| Sítio                     | I                      | 0,40 a                     |
|                           | II                     | 0,37 a                     |
|                           | III                    | 0,39 a                     |
|                           | F <sub>calculado</sub> | 2,31 <sup>ns</sup>         |
| Idade                     | 20                     | 0,41 a                     |
|                           | 14                     | 0,40 a                     |
|                           | 9                      | 0,33 b                     |
|                           | F <sub>calculado</sub> | 34,94*                     |
| Interação (Sítio x Idade) | F <sub>calculado</sub> | 1,79 <sup>ns</sup>         |

\*significativo a 5% de probabilidade de erro; ns= não significativo.

Pode-se observar que existe tendência de aumento da massa específica com a idade. Em estudos realizados com *Pinus*, no Departamento de Física e Biofísica da UNESP de Botucatu também foram encontrados resultados semelhantes, os quais

constataram o aumento da massa específica até a idade de 24 anos. A partir desta a massa específica tendeu a permanecer estável.

A análise de variância permitiu comparar as árvores de diferentes sítios e diferentes idades. Nesta análise não foi constatada diferença significativa para o fator sítio, no entanto para o fator idade houve diferença, onde o povoamento de 9 anos diferiu dos demais.

Quando comparado com o trabalho realizado por Potulski (2010) com *Pinus taeda* os resultados médios não diferiram, porém os limites superiores e inferiores do presente trabalho variaram. Potulski (2010) encontrou massa específica variando de 0,31 a 0,54 g/cm<sup>3</sup> sendo próximos ao encontrado nesta pesquisa.

Em trabalho realizado por Klock (2000) com *Pinus taeda* os valores de massa específica média encontrados, variam de 0,37 a 0,44 g/cm<sup>3</sup>, com uma amplitude semelhante a encontra neste trabalho que variou de 0,33 a 0,41 g/cm<sup>3</sup>.

Em trabalho semelhante Rigatto (2002) avaliou a influência do sítio na massa específica de *Pinus taeda* no sul do Brasil e também não encontrou diferenças significativas. Porém, o autor observou a existência de tendência de diminuição dos valores de massa específica em árvores provenientes de sítios com maior ritmo de crescimento. Sendo que esta variação ocorrida, provavelmente, deve-se aos tratamentos culturais realizados no povoamento, superioridade genética e melhores características do solo. No presente trabalho essa diminuição não ocorreu, podendo ser explicada, pelo fato da variação entre os sítio e qualidade genética serem pequenas. Trata-se de um povoamento de mesma qualidade genética e solo semelhante.

### 5.2.2 Estabilidade Dimensional

Os valores apresentados na Tabela 14 são valores médios referentes à retratibilidade nos diferentes sítios e idades.

Tabela 14 - Médias e Análise variância da retratibilidade da madeira de *Pinus taeda*, em função do sítio e da idade.

| Fatores | Níveis | Média (%) |
|---------|--------|-----------|
| Sítio   | I      | 7,45 a    |

|       |     |         |
|-------|-----|---------|
|       | II  | 8,60 ab |
|       | III | 7,06 b  |
| Idade | 20  | 7,12 a  |
|       | 14  | 8,35 a  |
|       | 9   | 5,53 b  |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95 % de probabilidade de erro.

De acordo com o apresentado verificou-se diferença na Retratibilidade entre os tratamentos.

Na Tabela 14 está apresentado o teste de médias para Retratibilidade. Como se trata da mesma espécie em estudo pode notar que existe pouca variação ao longo da idade e também com os sítios florestais. As médias encontradas para retratibilidade radial + tangencial está abaixo das médias encontradas para a mesma espécie por Klock (1989), onde o autor obteve médias variando entre 11% e 12%. No entanto, Gonçalves (2008) encontrou valores próximos em trabalho avaliando a retratibilidade em diferentes regiões no estado de Goiás, encontrando valores próximos a 9%.

Rezende (1995) em seu trabalho encontrou relação entre retratibilidade longitudinal e as demais, sendo esta, nove vezes menor quando comparada com retratibilidade tangencial e sete vezes menor na direção radial. O mesmo autor ainda atenta para o fato que esta é uma característica geral entre todas as espécies de madeira, no entanto, vale ressaltar estas relações são numericamente dependentes da espécie, idade e também de sua massa específica.

### 5.2.3 Coeficiente de Anisotropia

Como pode-se observar na Tabela 15 os coeficientes de anisotropia variaram de 1,54 a 1,64. Os valores então dentro das variações encontradas na literatura por Potulski (2010), onde o autor encontrou uma variação de 1,35 a 3,99 para *Pinus taeda* e 2,24 a 5,65 para *Pinus maximinoi*.

Tabela 15 - 3 Média e Análise de Variância do Coeficiente de anisotropia da madeira de *Pinus taeda* em função do sítio e da idade

| Fatores                   | Níveis                 | Médias (%)          |
|---------------------------|------------------------|---------------------|
| Sítio                     | I                      | 1,61 a              |
|                           | II                     | 1,61 a              |
|                           | III                    | 1,54 a              |
|                           | $F_{\text{calculado}}$ | 3,60 <sup>ns</sup>  |
| Idade                     | 20                     | 1,64 a              |
|                           | 14                     | 1,45 a              |
|                           | 9                      | 1,63 a              |
|                           | $F_{\text{calculado}}$ | 4,911 <sup>ns</sup> |
| Interação (Sítio x Idade) | $F_{\text{calculado}}$ | 1,745 <sup>ns</sup> |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey; \*significativo a 95% de probabilidade de erro; ns= não significativo.

Balloni (2009) em seu trabalho com *Pinus elliottii* encontrou coeficiente de anisotropia inferior ao apresentado nesta pesquisa, tendo como valor médio 1,33 podendo ser considerada a madeira de excelente qualidade de acordo com a classificação de Nock et al. (1975).

Matos (2002) em pesquisa realizada com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* encontrou coeficiente de anisotropia médio variando entre 1,51 e 1,65. Vale ressaltar que estas variações ocorridas entre os trabalhos de mesma espécie, podem ser explicadas por fatores como ritmo de crescimento, porcentagem de lenho tardio e inicial, assim como pela posição no tronco entre outros.

Os mesmos autores verificaram que de maneira geral, a contração volumétrica, para a espécie em questão, é diretamente proporcional à massa específica básica. Porém, para o presente trabalho não foi encontrada diferença significativa entre os coeficientes de anisotropia para os diferentes sítios e idades. De acordo com Tsoumis (1991) o tamanho da variação dimensional é normalmente maior em madeiras que apresentam maior massa específica, pois apresentam maior quantidade de madeira por unidade de volume.

### 5.3 Influência do Sítio e da Idade na Laminação

#### 5.3.1 Rendimento efetivo na laminação

A Tabela 16 apresenta a análise de variância e as médias do rendimento efetivo para os fatores sítio e idade. A média geral ficou em torno de 63% para as 84 toras, o que está acima dos resultados encontrados na literatura por Brand (2000), que foi de 40,7% para espécies de Pinus na região norte de Santa Catarina. No entanto, Olandoski (2000) encontrou rendimentos próximos de 53% para diferentes espécies, o que não distancia muito da média encontrada no presente trabalho. Essa maior média encontrada no rendimento pode ser de certa forma, justificada pelo equipamento utilizado, pois na roleteira o diâmetro de rolo resto é menor (4,5 cm), resultando em melhor aproveitamento da tora, visto que os trabalhos de Olandoski (2000) e Brand (2000) não utilizaram tal equipamento.

Plantios de idades inferiores a 15 anos, geralmente não são destinados para a laminação, assim como o povoamento de 14 anos, mas, este não apresentou diferença significativa quanto ao rendimento do plantio com 20 anos. Isso leva a conclusão de que em um menor tempo de produção de madeira pode-se obter um mesmo rendimento na laminação, quando analisados volumes iguais. Quanto ao rendimento do povoamento de 9 anos, é diferenciado e inferior, justificando-se pela questão de que em idades mais jovens as árvores tendem a ter um formato mais cônico e este formato prejudica o rendimento, pois as perdas são maiores na etapa de arredondamento da tora.

Em análise do rendimento efetivo conclui-se que houve diferença entre as idades e entre os sítios florestais. Sendo a idade de 9 anos a que apresentou menor rendimento e para as idades de 14 e 20 anos não apresentaram diferença significativa. O menor rendimento do povoamento de 9 anos pode ser justificado pela maior influência da conicidade da tora, pois o povoamento ainda está em fase de crescimento vertical e com maior efeito do seu afilamento. Portanto, as perdas ocorridas no arredondamento da tora são proporcionalmente maiores nesta primeira etapa de perdas. Na Tabela 16 estão apresentadas as médias para os fatores idade e sítio.

Tabela 164 - Média e Análise de Variância do Rendimento Efetivo da laminação em função do sítio e da Idade.

| Fatores | Níveis | Média (%) |
|---------|--------|-----------|
|---------|--------|-----------|

|                           |                        |                     |
|---------------------------|------------------------|---------------------|
| Sítio                     | I                      | 68,45 a             |
|                           | II                     | 60,45 b             |
|                           | III                    | 57,52 b             |
|                           | F <sub>calculado</sub> | 3,026*              |
| Idade                     | 20                     | 67,22 a             |
|                           | 14                     | 67,31 a             |
|                           | 9                      | 54,27 b             |
|                           | F <sub>calculado</sub> | 6,754 *             |
| Interação (Sítio x Idade) | F <sub>calculado</sub> | 1,178 <sup>ns</sup> |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey; \*significativo a 95% de probabilidade de erro; ns= não significativo.

Bonduelle (2006) em seu trabalho encontrou que a maior perda ocorrida no processo de laminação ocorre na primeira etapa, ou seja, no arredondamento. Segundo a autora essa perda chega a 35%, sendo relacionado ao volume de casca e o fator de conicidade das toras.

Vale lembrar que essa perda ocorrida é ainda aproveitada pela indústria, pois todo o resíduo é destinado à caldeira, porém esse é um fim com pouco valor agregado.

As diferenças entre médias foram encontradas entre a idade e o sítio, sendo a idade com maior rendimento a de 14 e 20 anos os quais não foram diferentes entre si, como se pode observar na Tabela 16. Da mesma forma para o fator Idade o sítio que apresentou melhor rendimento foi o Sítio I, como previsto. As médias para os Sítios II e III não diferiram significativamente pelo teste Tukey, como apresentado na Tabela 16.

Como pode-se observar na Tabela 16, os melhores valores de rendimento foram os encontrados pelo sítio I e nas maiores idades. O melhor rendimento encontrado para o sítio I pode ser justificado pelo fato dos diâmetros médios encontrados nas toras referentes a este sítio serem maiores, e também por apresentarem menor conicidade.

### 5.3.2 Rendimento em lâminas de capa

As lâminas para serem consideradas como de capa obrigatoriamente deveriam ser livres de nós ou apenas com pequenas fendas. A Tabela 17 apresentou as médias e coeficientes de variação, respectivamente, de cada sítio de em cada idade do rendimento

em lâmina de capa. O cálculo deste rendimento geralmente não é realizado, porém, para este estudo julgou-se importante pela inclusão do fator sítio, que poderia interferir neste rendimento.

Neste caso, a diferença ocorreu entre os dois fatores. Como apresentado na Tabela 17 as médias que se destacaram como a maiores foram as do sítio I e sítio II, ou seja, o de melhor qualidade. Isso pode ser explicado pelo fato da maior cilindridade das toras destes sítios, pois como a tendência do melhor sítio é resultar em um maior crescimento, portanto acelerando o processo de crescimento e deixando o tronco mais cilindro em menor tempo. Para a idade e para a interação dos fatores as médias não foram consideradas estatisticamente diferentes.

Sendo assim, através deste estudo pode-se observar que uma tora proveniente de uma árvore de melhor sítio florestal, resulta em um maior rendimento, devido às suas maiores dimensões.

Tabela 17 - Média e Análise de variância do Rendimento em Lâmina de capa em função do sítio e da Idade.

| Fatores                | Níveis | Média (%) |
|------------------------|--------|-----------|
| Sítio                  | I      | 40,16 a   |
|                        | II     | 45,69 a   |
|                        | III    | 56,89 b   |
| F <sub>calculado</sub> |        | 6,829 *   |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey; \*significativo a 95% probabilidade de erro; ns= não significativo.

### 5.3.3 Rendimento de lâmina de segunda

Foram consideradas como lâmina de segunda, as lâminas que apresentaram nós e não atingiram o tamanho da chapa a ser produzida. Na Tabela 18, estão apresentados o resumo da análise de variância e os valores médios do rendimento de lâmina de segunda, ou lâmina de miolo. Para este rendimento não foram constatadas diferenças significativas para o fator sítio, no entanto houve variação quanto a idade.

Tabela 18 - Média e Análise de Variância do Rendimento em Lâmina de segunda em função do sítio e da Idade.

| Fatores                   | Níveis                 | Médias (%)          |
|---------------------------|------------------------|---------------------|
| Sítio                     | I                      | 11,4 a              |
|                           | II                     | 12,6 a              |
|                           | III                    | 15,2 a              |
|                           | $F_{\text{calculado}}$ | 0,568 <sup>ns</sup> |
| Idade                     | 20                     | 17,9 a              |
|                           | 14                     | 7,8 b               |
|                           | 9                      | 11,0 a              |
|                           | $F_{\text{calculado}}$ | 7,520*              |
| Interação (Sítio x Idade) | $F_{\text{calculado}}$ | 0,526 <sup>ns</sup> |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey; \*significativo a 95% de probabilidade de erro; ns= não significativo.

Geralmente o rendimento em lâmina de segunda não é avaliado, sendo sempre considerado um rendimento total. Autores como Bondulle et al. (2006) encontraram valor de 48% de rendimento quando analisado como total. Porém, Interamnense (1998) encontrou uma variação em seu rendimento de lâmina do gênero *Eucalyptus* spp. de 17 a 50%. O mesmo autor justificou o baixo rendimento, por tal espécie não gerar lâminas inteiras, ou seja, de segunda. Portanto, pode-se considerar este valor como sendo apenas de lâmina de segunda.

## 6. CONCLUSÃO

Os modelos hipsométricos e volumétricos testados apresentaram estatísticas adequadas e próximas, sendo os modelos escolhidos o testado por Nogueira (2003b) e Schumacher-Hall (1933) respectivamente.

O modelo mais adequado para classificação de sítio para o povoamento em questão foi o de Silva-Bailey. O mesmo foi utilizado para gerar as curvas de Sítio 18,

Sítio 20 e Sítio 23, onde o que possui melhor qualidade é denominado Sítio 23 e o de qualidade inferior o Sítio 18.

A massa específica da madeira variou com a idade, não sendo influenciada significativamente pelo sítio florestal. Levando em consideração a pequena amplitude nas classes de sítio a variação na massa específica foi pequena e não pode ser observada. No entanto, se considerarmos um área de estudo maior, onde possa ser observada uma ampla variação de sítio florestal, pode ser que esta variação na massa específica seja constatada.

A estabilidade dimensional sofreu influência tanto da idade quanto do sítio. Pode-se observar que a estabilidade dimensional seguiu o mesmo padrão de variação da massa específica quando analisado o fator idade, portanto pode-se concluir que a massa específica influenciou na estabilidade dimensional tanto quanto o sítio.

O coeficiente de anisotropia não sofreu variação significativa em função da idade e também do sítio.

O rendimento efetivo de laminação para *Pinus taeda* foi diferenciado tanto para o fator idade quanto para sítio. O melhor sítio (I) foi o que apresentou melhor rendimento.

Para a variável rendimento de lâmina de capa, houve diferença significativa entre os tratamentos. O melhor rendimento em lâmina de capa foi constatado para o sítio I e nas idades de 20 e 14 anos.

O rendimento de lâmina de segunda não apresentou diferença estatística nos tratamentos propostos.

Desta forma, pode-se concluir com o presente trabalho que o sítio influenciou na estabilidade dimensional, rendimento efetivo e no rendimento de lâmina de capa. Porém a idade teve influência na massa específica, estabilidade dimensional, rendimento efetivo e rendimento em lâmina de capa.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- NBR- 7190. Projeto de estruturas de madeira. 1997.

ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2012**. Brasília, 2012.

BALLONI, C.J. V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii***. 42 f. Trabalho conclusão de curso. Engenharia Industrial Madeireira- Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Itapeva-SP, 2009.

BAMPI, P. Manejo de Pinus na empresa Papel e Celulose Catarinense – PCC. In: SIMPÓSIO MANEJO DE FLORESTAS PLANTADAS, Esteio, 1991. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1991. p. 48-66.

BARROS, D.A. MACHADO, S.A. ACERBI Jr. F.W. SCOLFORO, J.R.; Comportamento de Modelos Hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de pesquisas Florestais**, Colombo, PR, n. 45, p. 3-28, 2002.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para floresta plantadas de *Eucalyptus* sp no estado de São Paulo. **IPEF**, São Paulo, n.32, p.33-42, 1986.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Mith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 126 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal)- Programa de Pós graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria- UFSM. Santa Maria- RS, 2000.

BONDUELLE, G.M.; IWAKIRI, S.; CHIES, D.; MARTINS, D. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus spp*. **Floresta e ambiente**. v. 12, p. 35-41, 2006.

BRAND, M. A.; **Rendimento do processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal**. 180f. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal)- Programa de pós graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná- UFPR. Curitiba-PR, 2000.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal: a produção florestal**. 4 ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124p.

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

CAREY, J, H. 1992. *Pinus taeda*. In: **Fogo Sistema de Informação Effects**, [Online]. EUA Departamento de Agricultura, Serviço Florestal, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Produtor). Disponível: <http://www.fs.fed.us/database/feis/> [ 2012, 15 de agosto].

CASTELO, P. A. R.; **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 51f. Tese (doutorado em Engenharia Florestal)- Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná- UFPR. Curitiba-PR, 2007.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serradas de *Pinus taeda* L**. 123f. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal)- Programação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2005.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333p.

DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedade de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 65, p. 102-113, jun. 2004.

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. UFV, Viçosa, 2000. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2000.

FREIRE, J. P. A. **Modelação do crescimento da árvore individual independente da distância para a *Pinus pinaster* Aiton. em Portugal**. UTL: Lisboa, 2002. 115f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2002.

GAIOTTO, M. R. Avaliação da madeira de *Eucalyptus salignae* *Eucalyptus urophylla* para produção de lâmina. Piracicaba, 1993. 119 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, J. C. VIEIRA, F. S. CAMARGOS, J. A. A. ZERBINI, N. J.; Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribea* var. *hondurensis*. **Cerne**. Lavras-MG, v. 15, n.2, p. 251-255, 2009.

GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N. Tendência de crescimento de povoamento de eucalipto após aplicação de desbaste. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.31, n.5, 2007.

HIGA, R. C. V.; Wrege, M. S.; Radin, B.; Braga, H.; Caviglione, J. H.; Bognola, I.; Rosot, M. A. D.; Garrastazu, M. C.; Caramori, P. H.; Oliveira, Y. M. M. **Zoneamento climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasil**. Embrapa Florestas, Colombo. 21 ed, 17p, 2008.

IWAKIRI, J. C. S.; SILVA, J. R. M.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensado de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v. 26, n. 3, p 371-375, 2002.

JOZSA, L.A.; MIDDLETON, G. R. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. **Forinter Canada Cop**. Ed. Esp. v. SP-34. Canadá, 1994.

KLOCK, U. **Qualidade do madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr e Golf**. 143f. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal)- Programação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 1989.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. moore**. 324f. Tese Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná- UFPR. Curitiba-PR, 2000.

KOHLER, S. V. RETSLAFF, F. A, S. MÔRA, R. FIGUEIREDO FILHO, A. WOLFF II, N. I.; Diferentes métodos de ajuste de modelo volumétrico de Schumacher e Hall. 2012.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F., PONCE, R. H.; **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. v. 1. 153 p.

- LAZARETTI, S.D. **Qualidade da madeira e rentabilidade na produção de *Pinus taeda* L. visando múltiplos mercados.** 2007. 131F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria- UFSM. Santa Maria –RS, 2007.
- LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil. Madeiras, ornamentais e aromáticas.** Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2003, 339 p.
- MACDONALD, E. HUBERT, J. A review of the effects of Silviculture on timber quality of Sitka Spruce. **Forestry**, v.75, n.2, Escócia, 2002.
- MACHADO, S.A; OLIVEIRA, E.B; CAPANEZZI,A.A; BARTOSZECK, A.C.P.S. Classificação de sítio para Bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.35, p.21-37, Colombo- PR, 1997.
- MARTINS, E. F. P.; FERREIRA, R. L. C.; JANKVSKI, T.; BRITO, C. C. R. **Curvas de índice de sítio para *Leucena [Leucena leucocephala (lam.) de wit]* no agreste de Pernambuco.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.17, n.4, p.365-376, 2007.
- MIGUEL, E.P. CANZI, L. F. RUFINO, R.F. SANTOS, G. A.; Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantio de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde- GO. **Enciclopédia Biosfera**. V. 6, n. 11, 2011.
- MORESCHI, J.C. **Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil.** Curitiba, 1976. 162p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.
- MATOS, J. L. M.; Qualidade da madeira de Pinus. 2002. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/cepef/artigos/Pinus%20na%20silvicultura%20brasileira.pdf>> Acesso em: junho de 2012.
- MURARA Jr, M. I; ROCHA, M. P; TIMOFEICZYL Jr. R. T.; Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 35, n. 3, p. 473-483, 2005.
- NASCIMENTO, F. A. F. **Modelagem biométrica e planejamento florestal otimizado utilizando a meta heurística enxame de partículas.** UNICENTRO, Irati, 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2010.
- NOCK, H. P; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Tecnologia da madeira.** Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná, 1975. 216 p.
- NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus sp.* e de *Tectona grandis* submetidas a desbaste.** UFV: Viçosa, 2003. 126p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- NOVAES, D. M. **Modelagem do crescimento e produção de povoamentos de *Tectona grandis* L.f. a partir de análise de tronco.** UFV, Viçosa, 2009. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

OLANDOSKI, D.P., **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas.** 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Estadual do Paraná, Curitiba, 2000.

OLIVEIRA, Y.M.M. DE; OLIVEIRA, E.B. de; HAFLEY, W.L. Classificação de sítio para povoamentos de *Pinus taeda* no sul do Brasil. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990: Campos do Jordão. Anais. Campos do Jordão: SBS, 1990. p.357-61.

OLIVEIRA, M. L. R. et al. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 133-141, 2009.

PELLISSARI, A. L. LANSSANOVA, L. R. DRESCHER, R.; Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira.** Colombo-PR, v.31, n.67, p. 173-181, 2011.

PEREIRA, Maria do Carmo Silveira. Produção e consumo de produtos florestais: perspectivas para a região sul com ênfase em Santa Catarina. Florianópolis : BRDE/AGFLO/GEPLA, 2003. 51p

POTULSKI, D. C. Densidade e retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. moore e *Pinus taeda* L. 49f. Trabalho conclusão de curso (Engenharia Industrial madeireira) Universidade Federal do Paraná- UFPR, 2010.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudos das inter-relações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF.** v.48-49, p. 133-141, 1995.

REZENDE, M. A. Retratibilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas reações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis.** v. 64, p. 120-127, 2003.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.267-273, 2004.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft.** 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SBS- Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e números do Brasil florestal.** São Paulo, 2008.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração Florestal 4,** Classificação de Sítios Florestais. Lavras- UFLA/FAEPE, 1997. 151p.

SCOLFORO, J. R. S. MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista floresta.** Curitiba, p.140-158, 1988.

SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO S.A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 50, p. 51-64, dez. 1996.

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal: Textos acadêmicos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 443p.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C. R.; FINGER, C. A. G. Influência de diferentes intensidades de desrama sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelman. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 115-127, 1998.

SHIMIZU, J. Y.; *Pinus* na silvicultura brasileira. UFSM. Santa Maria, 2008.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria, UFSM/CEPEF-FATEC, 1993. 348p.

SERPA, N. P.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S.; Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus salignae* *Pinus elliottii*. **Arvore**, n.5, p.723-733, set. 2003.

SHIMIZU, J.Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./florestal/artigos/pinus.html>>. Acesso em: 19 mar. 2012.

SIQUEIRA, K. P. de.; Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio. Curitiba, 2004. 43p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 2004.

SPATHELF, P. NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal**. Santa Maria, 2000. 71p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest**. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994, 312p.

WOLFF II, N. I.; Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda*. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Centro-oeste- UNICENTRO, Irati, 2012.

ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPEF**, Piracicaba, n.4, p.31-38, 1992.