



**UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE**

Av. Castelo Branco, 170 - CEP 88.509-900 - Lages - SC - Cx. .P.525 - Fone/Fax: (049) 224-1022

## **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE PESQUISA**

# **CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Pinus*, POTENCIAIS PARA O USO NA INDÚSTRIA MADEIREIRA NA REGIÃO SUL DO BRASIL**

**Coordenador: MSc. Martha Andreia Brand**  
**Pesquisadores: Luciana Becker Pástor**  
**Krambeck**

**Romullo Luiz Simão**

**Fontes financiadoras: FUNCITEC**  
**UNIPLAC**  
**KLABIN S.A.**

**Outubro/2003**  
**Lages - SC**

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>II</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>II</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
3.1 ESPÉCIES ESTUDADAS.....	3
3.1.1 <i>Pinus greggii</i> Engelm. ....	3
3.1.2 <i>Pinus taeda</i> L. ....	5
3.2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA .....	5
3.2.1 <i>Fatores que influenciam na qualidade da madeira</i> .....	6
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
3.1 COLETA DAS ÁRVORES .....	15
3.2 PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA .....	18
3.3 PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	19
3.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA .....	22
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
4.1 PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO .....	22
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA .....	29
4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	41
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
5.1 PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO .....	48
5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS .....	49
5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	50
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Demonstração da classificação do material coletado para os testes anatômicos, físicos e mecânicos da madeira .....	16
Tabela 2 – Dados de altura e diâmetro das posições de coleta das árvores amostradas.....	17
Tabela 3 – Propriedades físicas da madeira da espécie de <i>Pinus taeda</i> .....	30
Tabela 4 – Propriedades físicas da madeira da espécie de <i>Pinus greggii</i> (Família 30).....	30
Tabela 5 – Propriedades físicas da madeira da espécie de <i>Pinus greggii</i> (Família 38).....	30
Tabela 6 – Propriedades físicas da madeira da espécie de <i>Pinus greggii</i> (Família 39).....	30
Tabela 7 – Propriedades físicas da madeira da espécie de <i>Pinus greggii</i> (Família 43).....	30
Tabela 8 – Propriedades físicas da madeira da espécie de <i>Pinus greggii</i> (Família 45).....	31
Tabela 9 – Dados comparativos das propriedades físicas das famílias avaliadas .....	31
Tabela 10 – Valores de Flexão estática das famílias avaliadas no DAP .....	42
Tabela 11 – Valores de Compressão paralela às fibras das famílias avaliadas no DAP.....	44
Tabela 12 - Valores de dureza Janka das famílias avaliadas no DAP.....	45
Tabela 13 - Valores de cisalhamento das famílias avaliadas no DAP.....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 999 ( <i>Pinus taeda</i> ) .....	24
Figura 02 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 30 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	24
Figura 03 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 38 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	24
Figura 04 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 39 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	25
Figura 05 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 43 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	25
Figura 06 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 45 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	25
Figura 07 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 999 ( <i>Pinus taeda</i> ) .....	26
Figura 08 - Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 30 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	26
Figura 09 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 38 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	27
Figura 10 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 39 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	27

Figura 11 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 43 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	28
Figura 12 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 45 ( <i>Pinus greggii</i> ).....	28
Figura 13 – Massa específica da madeira de <i>Pinus taeda</i> ao longo da altura da árvore. ....	32
Figura 14 – Massa específica da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 30) ao longo da altura da árvore. ....	32
Figura 15 – Massa específica da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 38) ao longo da altura da árvore. ....	33
Figura 16 – Massa específica da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 39) ao longo da altura da árvore. ....	33
Figura 17 – Massa específica da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 43) ao longo da altura da árvore. ....	34
Figura 18 – Massa específica da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 45) ao longo da altura da árvore. ....	34
Figura 19 – Comparação da massa específica entre as Famílias avaliadas na altura do DAP .....	35
Figura 20 – Contrações radiais (Br), tangencias (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de <i>Pinus taeda</i> (Família 999) ao longo da altura da árvore. ....	36
Figura 21 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 30) ao longo da altura da árvore.....	37
Figura 22 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 38) ao longo da altura da árvore.....	37
Figura 23 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 39) ao longo da altura da árvore.....	38
Figura 24 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 43) ao longo da altura da árvore.....	38
Figura 25 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de <i>Pinus greggii</i> (Família 45) ao longo da altura da árvore.....	39
Figura 26 – Comparação das contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) entre as famílias avaliadas na altura do DAP.....	39
Figura 27 – Comparação do coeficiente de anisotropia entre as Famílias avaliadas, ao longo da altura da árvore .....	40
Figura 28 - Comparação do coeficiente de anisotropia entre as Famílias avaliadas no DAP .....	40
Figura 29 – Comparação da tensão máxima de ruptura exercida sobre os corpos de prova submetidos a esforços de flexão estática nas famílias avaliadas.....	42
Figura 31 - Comparação da tensão máxima de ruptura exercida sobre os corpos de prova submetidos a esforços de compressão paralela às fibras nas famílias avaliadas .....	44
Figura 32 - Comparação do módulo de elasticidade dos corpos de prova submetidos a esforços de compressão paralela às fibras nas famílias avaliadas.....	45

Figura 33 – Comparação da força máxima que os corpos de prova resistiram em teste de dureza Janka nas famílias avaliadas .....	46
Figura 35 - Comparação da tensão máxima que os corpos de prova resistiram em teste de cisalhamento nas famílias avaliadas .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento dos incentivos fiscais, nos anos 60, foram implantadas extensas áreas de plantio das espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Porém, os plantios foram inicialmente direcionados para a indústria de celulose e papel, formando assim uma matéria-prima de baixa qualidade para o uso em outros ramos da indústria de base florestal.

A preocupação com o uso de recursos naturais renováveis tem sido constante e o uso múltiplo das florestas está se tornando cada vez mais importante. Porém, devido ao fato da espécie de *Pinus elliottii* ter apresentado alguns problemas tecnológicos para a utilização em alguns ramos do setor madeireiro, o *Pinus taeda* está suprindo, quase que exclusivamente, a indústria da madeira na região sul do Brasil em todos os segmentos do setor.

Assim, as empresas que tem plantios desta espécie sabem o risco de se ter todo o suprimento de madeira baseado em apenas uma espécie. Pragas como a vespa da madeira e algumas doenças já ameaçaram a espécie de *Pinus taeda*. Preocupadas com este risco, as empresas vem implantando experimentos com outras espécies do mesmo gênero, trazidas de outros países, para determinar quais são as que tem potencialidade para suprir a indústria de base florestal, juntamente com o *Pinus taeda*.

Uma destas espécies é o *Pinus greggii*, trazido do México nos anos 90, e que tem demonstrado bons resultados de crescimento e desenvolvimento nos municípios onde foram implantados testes de procedência e progênie. Porém, o fato da espécie apresentar bons resultados de crescimento não significa que terá desempenho adequado nas utilizações industriais da madeira.

As empresas que possuem os plantios não tem os laboratórios adequados para a realização de estudos tecnológicos que determinarão as características da madeira e seus usos mais adequados. Portanto, é fundamental a parceria entre as Univerdidades e as empresas no sentido de desenvolver estudos tecnológicos que auxiliarão na melhor utilização dos recursos madeiráveis, tanto já disponíveis, como os que estão sendo implantados e testados.

Estas parcerias contribuem ainda de forma fundamental para a consolidação do uso múltiplo, tanto da floresta como das árvores. Isto é possível devido ao fato de cada idade e cada seção das árvores pode ser direcionada para usos variados no momento do corte, a partir de conhecimentos tecnológicos relativos a qualidade da madeira.

Assim, é muito importante a caracterização do *Pinus taeda*, que ainda é incipiente, uma vez que as características das árvores plantadas no Brasil são muito diferentes das apresentadas na sua região de origem (sul e sudeste dos Estados Unidos).

Esta caracterização servirá de base para determinar se outras espécies tem potencial de utilização comercial, a partir da comparação com espécies tradicionalmente utilizadas, mas que ainda não foram estudadas tecnologicamente. Este é o caso do *Pinus greggii*, que tem demonstrado alto potencial silvicultural para a região dos Campos de Lages.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a madeira de espécies do gênero *Pinus*, quanto as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas, provenientes de testes de procedência e progênie, instalados na INDÚSTRIA KLABIN S.A., no município de Correia Pinto / SC.

Este estudo contribuirá para a determinação dos usos industriais mais adequados das espécies atualmente plantadas no Estado de Santa Catarina, como também de espécies potenciais alternativas para o *Pinus taeda*, ou complementação do suprimento industrial de madeira, que atualmente é feito quase que exclusivamente por esta espécie.

### 2.1 Objetivos específicos

Determinar as características anatômicas da madeira de *Pinus greggii* e *Pinus taeda* (testemunha);

Determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus greggii* e *Pinus taeda* (testemunha);

Indicar quais os usos industriais e aplicações mais adequados para a espécie de *Pinus greggii*;

Determinar se a espécie de *Pinus greggii* pode ser uma alternativa para complementar a espécie *Pinus taeda*, no suprimento industrial de madeira na região sul do Brasil.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Espécies estudadas

As espécies selecionadas para este estudo foram o *Pinus taeda* e o *Pinus greggii*, e portanto serão feitas as descrições relacionadas a elas para a compreensão das peculiaridades de cada espécie.

##### 3.1.1 Pinus greggii Engelm.

O *Pinus greggii*, conhecido como pino gaberato, pino gabaratico ou pino prieto, é um pinheiro endêmico do México, que apresenta altura variada, geralmente entre 10 e 25 m e acículas de coloração verde-clara. A copa, irregularmente arredondada, pode apresentar os galhos inferiores na posição horizontal ou, ainda, de forma pendente, com galhos tocando o chão (PERRY, 1991).

Do ponto de vista morfológico, o *Pinus greggii* é muito semelhante ao *Pinus patula*, do qual pode ser diferenciado, segundo MIROV (1967), pelas acículas mais curtas, ásperas e eretas. Devido a essa semelhança, quando foi introduzido na África do Sul, vindo da Itália, em 1910, recebeu o nome de *P. pseudo-patula* (POYNTON, 1977). Outros autores, como PERRY (1991) e DONAHUE *et al.* (1995), citam, ainda a semelhança morfológica de *P. greggii* com *P. attenuata* Lemon.

O *P. greggii* distribui-se de forma limitada e descontínua pelas montanhas de sierra Madre Oriental (norte e centro-leste do México), estando presente nos estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo e Puebla. Sua principal ocorrência está nas baixas encostas das serras ao nordeste, entre as latitudes 20 °N e 26° N e longitudes 98 °W e 101 ° W, onde é encontrado, principalmente, em solos profundos, um tanto argilosos, em altitudes de 1500 m a 2500 m (POYNTON, 1977).

Há duas populações distintas de *P. greggii*, uma na região norte e outra no centro-leste do México. A do norte cresce menos, é mais resistente ao frio e à seca que a do centro-leste (CANCORE, 1998). O intervalo de praticamente 400 Km entre as duas ocorrências geográficas da espécie ainda não é bem explicado. Outras espécies, incluindo *P. patula*, são encontradas neste intervalo (DONAHUE & LOPEZ UPTON, 1996).

Quanto à coloração, a madeira de *P. greggii* é amarela-pálida e pouco resinosa (PERRY, 1991), sendo uniforme ao longo da altura do fuste e ao longo dos raios. No

entanto, quanto às características físicas, há uma forte estrutura definida dos anéis de crescimento com diferenças na densidade entre o lenho inicial e tardio, sendo esta similar à do *P. elliotii*. A retratibilidade radial é consideravelmente menor, internamente (próximo à medula), do que externamente. Esta diferença mostra uma íntima associação com as diferenças de densidade. Segundo MURILLO (1988), a madeira de *P. greggii* apresenta densidade de 450 a 550 Kg/cm<sup>3</sup>.

Toras de *P. greggii* são facilmente descascadas e serradas, e a madeira não apresenta desvio excessivo de grã. Quanto a resina, existe diferença entre as duas regiões testadas. De forma generalizadas, a madeira de *P. greggii* não é muito resinosa. O efeito de sítio é altamente significativo sobre a densidade da madeira, a largura do anel, a porcentagem de lenho tardio, o comprimento dos traqueóides, a retração, o desvio de grã e a produção de resina. Porém, esse efeito é irrelevante sobre a inclinação dos ramos (MALAN, 1994).

Segundo este autor, a forma do fuste e a alta concentração de nós são aspectos negativos da espécie. Na sua origem, a madeira de *P. greggii* é empregada na construção em geral, como escora para minas e como lenha (PERRY, 1991).

O *Pinus greggii* apresentou baixo teor de cinzas (0,08%), o que é um aspecto positivo para a produção de polpa e papel e obteve rendimento de 44% a 45% em polpa kraft pré-hidrolisada não branqueada (DHAWAN *et al*, 1990), sendo valores dentro dos limites de rendimento obtidos de *P. taeda* e *P. elliotii* (43 a 37%).

Ensaio de qualidade do papel mostraram que *P. pseudostrobus* e *P. greggii* apresentaram, dentre as espécies tropicais, maior resistência ao rasgo, ao estouro e à tração, sendo a polpa de *P. greggii* de melhor qualidade do que a de *P. pseudostrobus* (SHARMA *et al*, 1987).

O crescimento de *P. greggii* vem se demonstrando satisfatório em vários países em testes de utilização da madeira, tanto para serraria quanto para papel. No entanto, devido ao pequeno número de material genético testado, não se pode tirar conclusões definitivas sobre o potencial real da espécie, a sua adaptabilidade em diferentes sítios nos trópicos e subtropicais ou sobre o grau de variação genética entre procedências. Como infelizmente muitas populações naturais de *P. greggii* abrangem áreas menores que 50 hectares e sofrem constantes intervenções de lenhadores e criadores de gado, sua variação genética está ameaçada (DONAHUE & LOPEZ UPTON, 1996).

### 3.1.2 Pinus taeda L.

Segundo MARCHIORI (1995), as sinonímias da espécie são *Pinus lutea* Wlatter e *Pinus heterophylla* Small.

A espécie é oriunda das planícies adjacentes ao Golfo do México e costa atlântica do sudeste dos Estados Unidos. O *Pinus taeda* cresce em geral até a altitude de 800 m. Embora coincidente com a área original do *Pinus elliottii*, apresenta uma distribuição mais ampla, alcançando o Texas, Arkansas, Tennessee e Virgínia. É conhecido por Loblolly pine.

Trata-se da espécie madeireira mais importante dos Estados Unidos na atualidade. No sul do Brasil é cultivado sobretudo nas terras mais altas da Serra Gaúcha e Catarinense. As árvores alcançam cerca de 20 m de altura e 100 cm de DAP, produzindo copa densa, casca gretada e ramos acinzentados. As folhas aciculares e verde escuras reúnem-se em grupos de 3 por fascículo e medem de 15 a 20 cm de comprimento. Apresentam com frequência 2 canais resiníferos, raramente 3 a 4, dispostos no meio do colênquima.

Ainda segundo MARCHIORI (1995), a espécie assemelha-se ao *Pinus elliottii*, diferindo, entretanto, em vários aspectos de fácil reconhecimento. As acículas de *Pinus taeda*, mais curtas e de cor mais escura, tem seção transversal triangular e cones praticamente sésseis, tendentes à cor acinzentada.

A madeira é indicada para construções, móveis e caixotaria. As fibras são longas e adequadas à fabricação de papel. Produz bastante resina.

## **3.2 Caracterização tecnológica da madeira**

Um dos principais objetivos da atividade florestal é a produção de madeira para diversos fins. A aptidão para cada tipo de utilização é determinada por uma série de propriedades desse material.

Embora a experiência de uso e a disponibilidade da madeira frequentemente decidam quais as espécies a serem utilizadas para uma determinada finalidade, atualmente requer-se um conhecimento mais detalhado para uma utilização eficiente, bem como para a utilização de madeiras desconhecidas e, ainda, para a indicação de espécies em projetos de reflorestamento.

Se, por exemplo, para a indústria de polpa e papel interessam a densidade, o comprimento das fibras ou traqueóides, para a indústria moveleira importa a estabilidade

dimensional, características de superfície, coloração, etc. E para fins estruturais, interessa a resistência da madeira para os diversos tipos de esforços solicitantes, como compressão, tração e especialmente flexão.

Para BENDTSEN & SENFT (1986), o entendimento das características da madeira é essencial para o uso efetivo. Desta forma, para se classificar a madeira em categorias de resistência, há a necessidade de se conhecer as variáveis e de que forma elas influenciam na resistência.

### 3.2.1 Fatores que influenciam na qualidade da madeira

Os fatores que influenciam na qualidade da madeira são: local de plantio; massa específica; largura dos anéis de crescimento; porcentagem de lenho tardio; lenho juvenil e adulto; Inclinação da grã e nodosidade e outros fatores.

#### 3.2.1.1 *Local de plantio*

De acordo com ZOBEL & KELLISON (1978), citados por KELLISON (1981), a introdução de espécies exóticas têm produzido resultados drásticos. Certos problemas estão associados com o plantio de espécies com rápido crescimento. Esta afirmação se baseia no fato de que o rápido crescimento inicial, e alta produção de volume em idades mais avançadas, não levam em consideração a suscetibilidade da madeira para um determinado produto final desejado. Um exemplo clássico de madeira de qualidade inferior tem sido verificado com a espécie *Pinus caribea* encontrada na África do Sul. Mesmo em árvores com bom crescimento e forma adequada. A massa específica é menor, tanto quanto a produção de polpa e a qualidade do papel produzido. Similar, mas menos drástica, é a redução da massa específica da espécie de *Pinus taeda* levada dos Estados Unidos para o Brasil, África do Sul e Austrália.

#### 3.2.1.2 *Massa Específica*

A massa específica é importante, pois permite tirar conclusões a respeito da adaptabilidade da madeira como material de construção. Esta é a causa da madeira ser procurada para fins estruturais, devido à boa relação de resistência/peso que apresenta (KOLLMAN, 1951).

A relação geral entre a massa e a resistência é bem estabelecida para a madeira. A definição massa por unidade de volume é mais exata e independente da posição no espaço. Já a razão peso por volume depende da gravidade (KOLLMAN, 1951).

As diferenças de arranjo dos tecidos, dimensões do lúmen das células e espessuras das paredes celulares determinam valores próprios de massa específica para cada espécie de madeira. Salienta-se que a resistência da madeira está estreitamente relacionada com a sua massa específica.

A grande variabilidade da madeira pode ser expressa pelas variações da massa específica. Esta afirmação é comum a vários autores como BENDTSEN & SENFT (1986), KOLLMAN (1951) e KOLLMAN & COTÊ JR (1968), entre outros.

Embora a densidade constitua-se numa medida que reflete a somatória de inúmeras variáveis através dos anéis de crescimento, KOCH (1972), KOLLMAN & COTÊ JR (1968) afirmam que, como regra geral, a grande variabilidade da densidade das coníferas depende mais da variabilidade da porcentagem de lenho tardio do que da variabilidade das densidades individuais dos lenhos inicial e tardio.

Tal variabilidade ocorre entre indivíduos nos sentidos longitudinal e radial. Segundo BARRICHELO (1979), as variações que ocorrem dentro das árvores são geralmente as mais significativas. Segundo KOLLMAN (1951), no caso específico de *Pinus*, as variações da massa específica podem ser tão acentuadas no sentido longitudinal da árvore a ponto de sugerir diferentes classes de qualidade apenas em função da posição de origem da peça.

### *3.2.1.3 Largura dos anéis de crescimento*

Algumas características da madeira são empregadas como indicadores de suas propriedades desde o início de sua utilização, devido a sua fácil visualização. Dentro destas características destacam-se a configuração dos anéis de crescimento, juntamente com a cernificação e o aspecto superficial. Na maioria das coníferas, a largura dos anéis de crescimento é facilmente identificado em corte transversal e pode ser indicadora de muitas características e do comportamento da madeira, tais como a regularidade e distribuição de determinadas propriedades, manutenção da forma depois de trabalhada, nodosidade interna, massa específica e propriedades mecânicas.

BENDTSEN & SENFT (1986), em concordância com outros autores, sustentam que a largura do anel de crescimento, por si só não constitui uma escala muito segura para a estimativa da resistência da madeira.

KOCH (1972) e KOLLMAN & COTÊ JR (1968) concordam que madeiras de coníferas com anéis de crescimento mais estreitos são mais pesadas e resistentes, ocorrendo o inverso em folhosas. Investigações mais recentes, no entanto, indicam que a porcentagem do lenho tardio influi mais diretamente na massa específica e, conseqüentemente na resistência, do que a largura do anel de crescimento.

A maioria dos autores afirma que para folhosas de porosidade em anel e coníferas de rápido crescimento que crescem em sítios normais, a correlação entre as propriedades mecânicas e a largura do anéis de crescimento tem validade, se bem que os valores fornecidos só podem ser considerados como uma estimativa bastante superficial, que pressupõe ainda grande variação. Outros autores aconselham utilizar como parâmetro para o uso, bem como a regularidade e largura dos anéis de crescimento.

Segundo KOCH (1972), existem grandes variações de largura dos anéis de crescimento dentro de uma árvore tanto num plano transversal como em função de sua altura. Este mesmo autor, observou valores máximos de largura nos anéis de crescimento no ápice e na base das árvores crescidas em maciços florestais, localizando-se a zona de largura média mais regular na posição a um terço da altura da árvore.

#### *3.2.1.4 Porcentagem de lenho tardio*

A proporção entre os lenhos inicial e tardio é uma variável freqüentemente observada em numerosos estudos sobre a qualidade da madeira. Esta proporção foi determinada por muitos autores, mostrando significativa afinidade com a massa específica, propriedades de resistência e outros fatores, como espécie, variedade, sítio, idade, etc.

Segundo KOLLMAN & COTÊ JR (1968), o efeito do lenho tardio na massa específica deve-se ao fato deste lenho conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial. Isso torna-se evidente em madeiras de coníferas com transição abrupta de lenho inicial para lenho tardio e em madeiras de folhosas com porosidade em anel. Nas últimas, a alta densidade do lenho tardio deve-se ao menor diâmetro e quantidade de vasos e a uma maior proporção de fibras.

A proporção de lenho tardio é de grande interesse para as propriedades mecânicas da madeira, especialmente em se tratando de espécies com acentuada diferença de massa

específica e estrutura entre as zonas de lenho inicial e tardio. Existe uma estreita correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, como visto anteriormente, sendo de se esperar que, quanto maior for a porcentagem deste, tanto maior será a resistência da madeira, o que é facilmente identificado em coníferas.

A variação da porcentagem de lenho tardio é a mesma que foi descrita para massa específica e largura do anel de crescimento, tanto no sentido transversal como no sentido longitudinal da árvore.

KOCH (1972), KLOCK (1989) e outros autores observaram que o decréscimo da porcentagem de lenho tardio, em função do crescimento em altura na árvore, é mais acentuado em *Pinus* que em outras espécies.

Em um estudo realizado por BRAND et al (2002), na região de Lages, com árvores de 19 anos de idade de *Pinus taeda*, foi feita a análise da porcentagem de lenho tardio e sua variação com relação a altura e diâmetro das árvores em três sítios de qualidade do solo. Os resultados deste estudo indicaram que a variação da porcentagem de lenho tardio entre sítios foi pequena. A diferença de porcentagem de lenho tardio e inicial em relação a altura apresenta aumento no sentido da base para a altura para o lenho inicial e conseqüentemente diminuição para o lenho tardio, confirmando o que outros autores como KOCH (1972), KLOCK (1989) observaram em estudos anteriores.

Este comportamento deve-se ao fato de que, como o crescimento da árvore se dá como cones sobrepostos, o disco mais próximo ao solo terá, para um determinado anel de crescimento, proporcionalmente menos lenho inicial que o anel correspondente do último disco (mais alto), pois as células deste estão em plena atividade fisiológica, enquanto que no disco próximo ao solo, o anel que corresponde a mesma posição terá suas células com atividade fisiológica menor, com paredes mais espessas e lúmens menores (BRAND et al, 2002).

No estudo feito por BRAND et al (2002), comparou-se o primeiro anel de crescimento (sítio I - disco 1), a 0% da altura comercial, com o primeiro anel de crescimento do disco 6, a 100% da altura comercial, o anel de crescimento do disco 1 teve 80,49% de lenho inicial, enquanto que o anel equivalente do disco 6 teve 89,24% de lenho inicial, representando um aumento em torno de 8,75% para o mesmo anel, porém, em alturas diferentes.

O mesmo comportamento ocorreu para o demais anéis de crescimento, a diferentes alturas. Porém, não existe um aumento proporcional, sendo que para cada anel,

em cada altura, a porcentagem de aumento de lenho inicial e diminuição do lenho tardio é diferente.

Com relação à variação em diâmetro, constatou-se que a porcentagem de lenho inicial e tardio diminui para o lenho inicial do primeiro anel de crescimento (próximo à medula) até o último anel de crescimento (próximo à casca), ocorrendo o oposto para o lenho tardio, também confirmando o que já foi mencionado na literatura (BRAND *et al*, 2002)

Este comportamento deve-se ao fato do crescimento inicial das árvores ser maior diminuindo à medida que a árvore vai alcançando a idade adulta, onde o crescimento em diâmetro passa a ser menor.

Os métodos e instrumentos disponíveis para a medição do lenho tardio exigem um trabalho bastante difícil e demorado, apesar de certas madeiras permitirem uma boa divisão entre lenho inicial e tardio, podendo apresentar uma correlação entre a porcentagem de lenho tardio e largura do anel de crescimento o que facilitaria a estimativa da proporção deste lenho.

#### 3.2.1.5 *Lenho juvenil e adulto*

Devido ao rápido crescimento de muitas espécies do gênero *Pinus*, plantadas no Sul do Brasil, estas atingem dimensões de comercialização ainda muito jovens. Segundo KNIGGE & SCHULTS (1966), a madeira de árvores jovens difere daquela de árvores mais velhas, devido a maior porcentagem de lenho juvenil nas primeiras.

Quando comparado com o lenho adulto, o lenho juvenil caracteriza-se pela massa específica mais baixa, maior ângulo das microfibrilas, traqueóides mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e menor de celulose e menor resistência ( BENDTSEN & SENFT, 1986).

De fato, o número real de anéis do lenho juvenil depende de como ele é definido anatomicamente. Por exemplo, o comprimento dos traqueóides pode atingir uma estabilidade antes da espessura da parede celular.

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade do lenho juvenil apresentam qualidades estruturais inferiores, sendo o motivo pelo o qual as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (KNIGGE & SCHULTZ, 1966).

Diversas pesquisas têm demonstrado modificações nas propriedades da madeira em função do rápido crescimento e da maior proporção de lenho juvenil, o que, segundo BENDTSEN & SENFT (1986) justifica um questionamento a respeito da aplicabilidade das tensões admissíveis até agora utilizadas para madeiras de povoamento naturais em madeiras de florestas manejadas.

A mudança das características do lenho juvenil para adulto não se dá de forma abrupta, mas sim gradativa, de maneira que sua demarcação não é muito clara. O período de formação de lenho juvenil varia segundo a espécie e condições de crescimento, e muitas características como o comprimento das fibras e traqueóides, espessura da parede celular, massa específica, ângulo das fibras, resistência e outras vão se modificando até atingirem uma certa estabilidade no lenho adulto (BENDETSSEN & SENFT, 1986). O lenho juvenil tem seu limite em alguma parte do quinto ao vigésimo anel, dependendo principalmente da espécie e, até certo ponto, da localidade.

KNIGGE & SCHULTZ (1966) consideram que as árvores de rápido crescimento utilizadas em seu estudo, deveriam ser enquadradas como subespécies distintas com suas próprias características e propriedades. Esta hipótese foi levada em consideração devido à produção de grande porcentagem de madeira com propriedades mecânicas inferiores à madeira de *Pinus taeda* usada comercialmente nos Estados Unidos. Pela comparação entre as mudanças das propriedades do lenho central para o lenho externo, concluem que há indicações de que o lenho adulto das árvores de rápido crescimento tem, provavelmente, propriedades similares às do lenho de árvores de crescimento natural ao atingirem idades maiores.

Dever-se-ia fazer um estudo interdisciplinar entre pesquisadores, silvicultores e tecnólogos para demarcar as diferentes linhas de pesquisas tais como: comparação entre as propriedades de lenho adulto e juvenil: decisões sobre espaçamento; fertilização e período de rotação com base na proporção de lenho juvenil e adulto da árvore; e o conhecimento para selecionar os processos de secagem, tipos de máquinas e acabamentos baseados na porcentagem de lenho juvenil (BENDTSEN & SENFT, 1986).

BRAND *et al* (2002), também caracterizou a massa específica da madeira em diferentes posições da árvore, procurando estabelecer a variação da madeira juvenil para adulta. Assim, os valores de massa específica entre os discos tendem a diminuir do primeiro disco, próximo ao solo, para o último disco, a 100% da altura. Isto ocorre devido o pé da árvore ter madeira adulta (anéis de crescimento próximos à casca), além da madeira juvenil, e maior porcentagem de lenho tardio. A região basal da árvore sempre terá

maior massa específica, pois precisa ter maior resistência para suportar o peso da árvore. Os resultados mostram que os valores obtidos estão em concordância com as informações obtidas na literatura.

Percebeu-se também, neste estudo, que a 100% da altura comercial, os valores de massa específica são um pouco superiores que nas alturas imediatamente anteriores. Isto deve-se ao fato da madeira do último disco ser mais homogênea, ou seja, possui somente lenho juvenil.

A análise estatística demonstrou que para massa específica aparente básica, massa específica a 12% de umidade e a 0% de umidade foi diferente entre a madeira da base da tora com relação as alturas de 25%, 50%, 75 e 100% da altura comercial, além de ter havido diferença significativa entre a madeira do DAP e as alturas de 75 e 100% da altura comercial, confirmando novamente o que KOLLMANN (1951) cita a respeito da diferença da qualidade da madeira entre a base e o topo das árvores.

Portanto, para a massa específica o comportamento será o inverso, com maiores valores de massa específica próximo a casca, pois neste local a madeira tem mais parede celular e lumes menores.

MUÑIZ (1993), trabalhando com madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* encontrou os valores de massa específica aparente (entre 12 a 15% de umidade) de 0,46 g/cm<sup>3</sup> e 0,58 g/cm<sup>3</sup> para lenho juvenil e adulto, respectivamente.

Com base nestas afirmações, BRAND et al (2002) encontrou para a madeira adulta os valores de 0,56 g/cm<sup>3</sup> (0% da altura comercial), 0,60 g/cm<sup>3</sup> (DAP), 0,55 g/cm<sup>3</sup> (25% de altura) e 0,52 g/cm<sup>3</sup> (50% de altura), que foram próximos dos encontrados por MUÑIZ (1993).

Para a madeira juvenil, os valores encontrados por BRAND et al (2002) ficaram entre 0,40 g/cm<sup>3</sup> (medula da altura de 50% da altura comercial) e 0,48 g/cm<sup>3</sup>, próximo a (casca de 75% da altura) que também são similares ao fornecido por MUÑIZ (1993), de 0,46 g/cm<sup>3</sup>.

A análise estatística mostrou que para todas as propriedades analisadas houve diferença significativa entre a madeira localizada próximo à casca (madeira adulta) e a localizada próximo à medula (madeira juvenil).

Percebeu-se que a diferença de massa específica entre casca e medula é maior nas alturas de 0%, DAP, 25% e 50% da altura comercial, pois nestes discos é mais clara a distinção de madeira adulta e juvenil, como também é maior a proporção de lenho tardio próximo à casca. Nas duas últimas alturas (75% e 100% da altura comercial) somente

existe madeira juvenil e a porcentagem de lenho inicial é alta, tanto nas amostras próximo a casca como próximo a medula, homogeneizando desta forma os valores de massa específica.

### 3.2.1.6 Inclinação da grã e nodosidade

A inclinação da grã é a medida de desvio dos tecidos componentes da madeira em relação ao eixo longitudinal da peça. Se uma peça contendo tecidos axiais em um determinado ângulo do eixo longitudinal é sujeita aos esforços de tração ou compressão, o efeito dos componentes da força acompanha a direção da grã e a madeira se torna mais fraca nesta direção do que ao longo do eixo longitudinal da peça. A inclinação excessiva da grã é também indesejável, porque torna a madeira mais frágil e aumenta a sua tendência para o empenamento com a variação do teor de umidade (KOLLMAN & COTÊ, 1978).

KNIGGE & SCHULTZ (1966) afirmam que uma pequena modificação da inclinação da grã redundando em acentuada perda de resistência, sendo mais afetada a resistência à tração, seguida pela resistência à flexão estática e a compressão.

A grã espiralada é uma ocorrência comum em coníferas e usualmente segue uma espiral à esquerda, isto é, inclinada à esquerda em relação ao eixo axial da árvore. No gênero *Pinus* isto é comum, aparecendo em muitas espécies, porém, em algumas espécies como *Pinus taeda* tem pouca importância.

Muitas espécies do gênero *Pinus* têm propensão para produzir grandes e abundantes galhos, resultando na produção de madeira com muitos nós. O nó é definido como a porção basal de um galho que tenha sido incorporado no tronco da árvore. A existência de nós na madeira implica em diferentes desvios como os seus tecidos componentes (grã) e da distribuição da massa específica. Desta forma, em madeiras com nós aparecem desvios da direção da grã, variação na massa específica, irregularidades nos anéis de crescimento e, com frequência, descontinuidade entre o nó e a madeira circundante, resultando, de maneira geral, em uma diminuição da resistência.

De acordo com KNIGGE & SCHULTZ (1966), a nodosidade desempenha um papel tão importante para as peças de dimensões estruturais que sua menor resistência com relação aos corpos de prova livres de defeitos pode ser vista como consequência quase exclusiva da ocorrência e distribuição dos nós.

Em peças estruturais sujeitas à flexão estática, os esforços são maiores na porção média do comprimento e nas partes extremas de altura. Por essa razão, o efeito dos nós

sobre a resistência é maior quando localizados nas partes mencionadas ( KOLLMAN & COTÊ, 1968).

Os nós tendem a ser mais resinosos do que a madeira circundante, influenciando também as características superficiais da madeira, por exemplo, facilitando o aparecimento freqüente de rachaduras.

### *3.2.1.7 Outros fatores*

A umidade, a temperatura, as dimensões do corpo de prova e a velocidade de ensaio têm influência sobre os resultados dos testes de resistência da madeira. Estas e outras características levaram à normatização dos métodos de teste, sendo que, atualmente, a maioria dos países possui normas para a execução de ensaios com madeira.

Quanto maior a temperatura e a umidade até o ponto de saturação das fibras, tanto menor é a resistência da madeira aos diversos esforços solicitantes.

A maioria das normas determinam que os testes devem ser realizados a um teor de umidade de 12% e uma temperatura de 20°C.

As propriedades mecânicas da madeira têm seus valores aumentados com o decréscimo do teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, sendo que esse efeito se deve à contração da peça, pois ao se remover a umidade, as unidades estruturais (microfibrilas) se aproximam, aumentando significativamente a quantidade de ligações por meio de pontes de hidrogênio. Acima do ponto de saturação das fibras, mudanças no conteúdo de umidade não tem efeitos aparentes sobre a resistência da madeira (KOLLMAN & COTÊ JR., 1968; KOCH, 1972; KLOCK, 1989 e outros).

O aumento da resistência da madeira com o decréscimo no teor de umidade pode ser considerado resultado tanto no fortalecimento e rigidez dos elementos estruturais da madeira como da sua compactação, devido ao encolhimento que acompanha a perda de água.

KNIGGE & SHULTZ (1966) relatam que, embora a mudança na resistência com a alteração no teor de umidade siga uma tendência similar para a maioria das propriedades de resistência, a magnitude varia de uma para outra. Por exemplo, a resistência à compressão usualmente altera-se mais que a flexão, que por sua vez, muda mais que o módulo de elasticidade de flexão.

De modo geral, a maioria das propriedades é afetada pelas mudanças de temperatura, havendo redução da resistência com sua elevação e aumento da resistência

com sua diminuição, estando a magnitude das alterações relacionada positivamente com o conteúdo de umidade na madeira ( KOCH, 1972; KNIGGE & SCHULTZ, 1966).

A velocidade de ensaio influi na resistência verificada no material testado sendo que quanto maior a velocidade, menores serão os valores resultantes do teste. Para possibilitar a comparação de resultados, a velocidade de carga para os diferentes testes está normatizada.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Coleta das árvores**

O material selecionado para a realização do estudo é proveniente de um teste de procedência e progênie instalado no Município de Correia Pinto, em Santa Catarina. Este teste pertence a empresa Klabin S.A. e recebe o apoio da CANCORE.

Foram coletadas 30 árvores, com 9 anos de idade, distribuídas conforme a Tabela 1.

Como pode ser observado na Tabela 1, foram coletadas 5 árvores em cada família, totalizando 6 famílias. Das 6 famílias, uma é de *Pinus taeda*, considerada como testemunha para os testes. Esta espécie é tradicionalmente utilizada na região e serviu de parâmetro para a avaliação da potencialidade do *Pinus greggii*, que integrou as 5 famílias restantes.

De cada árvore foi coletado material em 5 posições diferentes. As posições de coleta foram determinadas com base na altura comercial, estabelecida como sendo de um diâmetro de ponta fina de 8 cm.

Com base na altura comercial foram retirados toretes de 90 cm de comprimento e bolachas (discos) de 2,5 cm de espessura no DAP (posição A); 16% da altura comercial (posição B), 33% da altura comercial (posição C), 66% da altura comercial (posição D) e 100% da altura comercial (posição E).

Tabela 1 – Demonstração da classificação do material coletado para os testes anatômicos, físicos e mecânicos da madeira

<b>Numeração das árvores</b>	<b>Número da árvore</b>	<b>Família</b>	<b>Bloco do experimento</b>
1.999.2	1	999 ( <i>Pinus taeda</i> )	2
2.999.4	2	999 ( <i>Pinus taeda</i> )	4
3.999.3	3	999 ( <i>Pinus taeda</i> )	3
4.999.6	4	999 ( <i>Pinus taeda</i> )	6
5.999.1	5	999 ( <i>Pinus taeda</i> )	1
6.30.1	6	30 ( <i>Pinus greggii</i> )	1
7.30.3	7	30 ( <i>Pinus greggii</i> )	3
8.30.5	8	30 ( <i>Pinus greggii</i> )	5
9.30.4	9	30 ( <i>Pinus greggii</i> )	4
10.30.2	10	30 ( <i>Pinus greggii</i> )	2
11.39.5	11	39 ( <i>Pinus greggii</i> )	5
12.39.4	12	39 ( <i>Pinus greggii</i> )	4
13.39.3	13	39 ( <i>Pinus greggii</i> )	3
14.39.2	14	39 ( <i>Pinus greggii</i> )	2
15.39.1	15	39 ( <i>Pinus greggii</i> )	1
16.38.1	16	38 ( <i>Pinus greggii</i> )	1
17.38.2	17	38 ( <i>Pinus greggii</i> )	2
18.38.3	18	38 ( <i>Pinus greggii</i> )	3
19.38.4	19	38 ( <i>Pinus greggii</i> )	4
20.43.4	20	43 ( <i>Pinus greggii</i> )	4
21.45.4	21	45 ( <i>Pinus greggii</i> )	4
22.38.5	22	38 ( <i>Pinus greggii</i> )	5
23.43.5	23	43 ( <i>Pinus greggii</i> )	5
24.45.5	24	45 ( <i>Pinus greggii</i> )	5
25.43.3	25	43 ( <i>Pinus greggii</i> )	3
26.45.3	26	45 ( <i>Pinus greggii</i> )	3
27.43.2	27	43 ( <i>Pinus greggii</i> )	2
28.45.2	28	45 ( <i>Pinus greggii</i> )	2
29.45.1	29	45 ( <i>Pinus greggii</i> )	1
30.43.1	30	43 ( <i>Pinus greggii</i> )	1

Os dados de altura e diâmetro em cada posição está representado na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de altura e diâmetro das posições de coleta das árvores amostradas

Número árvore	Altura total (m)	DAP (cm)	D 16% (cm)	H 16% (m)	D 33% (cm)	H 33% (m)	D 66% (cm)	H 66% (m)	D 100% (cm)	Altura Comer. (100%) (m).
1	19,05	26,30	27,00	2,31	21,20	4,77	15,80	9,55	8,00	14,44
2	17,05	33,00	29,30	2,16	26,00	4,45	18,90	8,91	8,00	13,50
3	15,15	25,00	24,70	1,81	22,00	3,73	16,00	7,46	8,00	11,30
4	17,93	30,80	29,30	2,20	24,60	4,53	19,10	9,06	8,00	13,73
5	17,40	25,20	24,00	2,07	23,00	4,26	17,60	8,53	8,00	12,93
6	17,60	23,50	22,00	2,11	20,00	4,36	14,70	8,73	8,00	13,23
7	16,80	24,60	23,50	1,97	19,50	4,06	14,60	8,12	8,00	12,30
8	16,70	16,00	15,30	1,72	13,10	3,53	10,90	7,06	8,00	10,70
9	18,00	24,00	21,30	2,17	18,70	4,48	15,90	8,96	8,00	13,60
10	18,00	29,00	26,60	2,31	23,10	4,77	16,20	9,54	8,00	14,46
11	17,15	23,20	22,50	2,10	18,50	4,34	14,20	8,70	8,00	13,18
12	16,40	25,60	25,00	2,01	21,80	4,15	16,30	8,31	8,00	12,60
13	17,30	23,00	22,00	2,11	18,10	4,36	13,30	8,72	8,00	13,22
14	18,00	27,10	25,40	2,27	23,20	8,68	18,10	9,37	8,00	14,20
15	15,60	25,70	25,40	1,85	21,50	3,82	16,40	7,75	8,00	11,60
16	17,80	26,00	23,00	2,16	18,00	4,45	14,70	8,91	8,00	13,50
17	17,03	20,50	21,50	2,00	17,00	4,25	13,80	8,51	8,00	12,90
18	17,80	29,20	25,80	2,16	24,10	4,45	15,40	8,91	8,00	13,50
19	19,57	34,50	29,50	2,42	26,80	5,00	19,90	10,00	8,00	15,14
20	19,00	28,90	25,50	2,37	22,60	4,90	18,00	9,80	8,00	14,85
21	18,60	27,00	26,70	2,30	24,20	4,75	17,70	9,50	8,00	14,40
22	17,60	22,70	20,70	2,06	18,50	4,25	13,90	8,51	8,00	12,90
23	18,30	26,00	22,40	2,30	21,50	4,75	16,60	9,51	8,00	14,41
24	19,30	24,00	23,00	2,35	19,40	4,85	14,70	9,70	8,00	14,70
25	18,70	24,00	22,90	2,14	19,90	4,42	15,70	8,84	8,00	13,40
26	19,10	27,50	25,80	2,43	21,71	5,01	16,20	10,03	8,00	15,20
27	18,50	23,90	22,30	2,36	20,50	4,80	16,00	9,76	8,00	14,80
28	17,60	22,40	19,20	2,02	16,40	4,17	12,90	8,34	8,00	12,65
29	18,55	22,80	21,50	2,19	18,00	4,52	13,50	9,04	8,00	13,70
30	18,60	23,60	21,50	2,30	20,00	4,75	15,50	9,50	8,00	14,40

Devido as árvores coletadas terem diâmetros bastante reduzidos foi adotada como padrão para coleta o seguinte procedimento:

Posição A (DAP) – retirada da bolacha (disco) a 1,30 m de altura a partir da base da tora em contato com o solo, e retirada do torete abaixo da bolacha.

Posição B (16% da altura comercial) – como a posição de 16% da altura comercial ficou normalmente muito próxima do DAP, após a marcação dos 16% da altura comercial, a bolacha foi tirada no topo do torete de 90 cm, o mais longe possível do DAP, e o comprimento do torete possuía a marcação da posição exata dos 16% da altura comercial.

Posição C e D (33% e 66% da altura comercial) – nestas posições o disco (bolacha) foi retirado na marcação da altura e o torete acima da marcação do disco.

Posição E (100% da altura comercial) – o disco foi retirado na marcação dos 100% da altura comercial e o torete da marcação para baixo.

O disco retirado na floresta foi utilizado para a determinação da porcentagem de lenho tardio e para a retirada dos corpos de prova para a avaliação da anatomia da madeira.

Os toretes foram levados para a serraria, onde foi retirado mais um disco com a mesma espessura do retirado na floresta, para a determinação da massa específica aparente básica. Após a retirada do disco, os toretes foram desdobrados para a confecção dos corpos de prova para a determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Devido ao pequeno diâmetro das árvores coletadas, as propriedades mecânicas foram determinadas somente na posição A (DAP), sendo que das demais posições foram retirados somente corpos de prova para as propriedades físicas da madeira.

### **3.2 Propriedades anatômicas da madeira**

Os blocos de 2 x 2 x 2 cm, para a avaliação anatômica foram retirados o mais próximo da casca dos discos coletados na floresta para a determinação da porcentagem de lenho tardio.

Estes blocos foram conservados em álcool 70% e sofreram o processo de maceração da madeira com o uso da solução de Jeffrey (partes iguais de ácido crômico a 10% e ácido nítrico a 10% de concentração).

A maceração consistiu na confecção de palitos de madeira retirados dos blocos que foram submersos na solução de Jeffrey até a dissolução da madeira em traqueóides individualizados.

O material macerado foi colorido com safranina, desidratado em solução alcóolica crescente (30%, 50, 75%, 90%, 95% e 100%). Após a desidratação, foram montadas lâminas permanentes para a medição.

A avaliação da anatomia da madeira consistiu basicamente na determinação das características dos traqueóides da madeira relacionadas ao comprimento das células, espessura e diâmetro da parede celular.

Estes dados foram usados para o cálculo do Fator de Runkel ( $R = \frac{2e}{d}$ ), em que:  
E = espessura da parede celular e d = diâmetro interno da célula.

Este fato é importante para a fabricação de polpa e papel, pois determina a aptidão da madeira para esta indústria em função dos valores anatômicos mencionados. Quanto maior o fator R, menos apta é a madeira para a fabricação de papel. Considerando-se ideais os valores menores do que 1 (BURGER & RICHTER, 1991).

Outros dois parâmetros avaliados foram o coeficiente de rigidez (CR) e o coeficiente de flexibilidade de Pereti (P).

Coeficiente de rigidez (CR) (%) =  $d/D \times 100$ , onde d = diâmetro interno da célula e D = diâmetro externo da célula.

Quanto maior o CR, maior será o achatamento e melhor o amoldamento das células. Um alto valor significa a existência de células de paredes finas (BURGER & RICHTER, 1991).

Coeficiente de flexibilidade de Pereti (P) =  $L/D$ , em que L = comprimento da célula e D = diâmetro externo da célula

### **3.3 Porcentagem de lenho tardio e propriedades físicas da madeira**

A porcentagem de lenho tardio foi determinada nos discos retirados das árvores na floresta nas posições de A a E. Para a demarcação dos lenhos tardio e inicial, dentro de cada anel de crescimento, utilizou-se papel milimetrado. A medição foi realizada em uma das faces do disco que foi devidamente lixada para possibilitar melhor visualização da transição do lenho primaveril para o outonal.

A determinação das propriedades físicas da madeira obedeceu a Norma ABNT – NBR 7190 e foram avaliados o teor de umidade; massa específica aparente básica e massa específica aparente a 12% de umidade; contrações radiais, tangenciais e volumétricas; e coeficiente de anisotropia de contração.

O teor de umidade foi determinado pelo método de pesagem, em corpos de prova de 2 x 3 x 5 cm, onde as amostras foram pesadas no estado verde e, após a secagem em

estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até observar-se peso constante. Foi utilizada a fórmula abaixo para o cálculo:

$$U = [(M_v - M_s) / M_s] \times 100 (\%)$$

onde:

U = umidade da madeira ( %)

M<sub>v</sub> = massa verde da amostra ( g)

M<sub>s</sub> = massa da amostra seca em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Determinando-se, desta forma, a umidade na base seca.

A massa específica aparente básica foi determinada em discos de madeira retirados dos toretes de 90 cm. Estes discos foram submersos em água até saturação completa. Após a saturação foram pesados em um recipiente com água, sob uma balança de precisão. Como os corpos-de-prova estavam saturados, o peso obtido na balança equivale ao volume dos discos. Após a pesagem, os discos foram colocados em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , por 48 horas até peso constante e pesados, obtendo-se assim o peso seco (0% de umidade).

Com os dados acima foi utilizada a fórmula:

$$MEAB = M_s / V_u \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

onde:

MEAB = massa específica aparente básica

M<sub>s</sub> = massa do corpo de prova seco em estufa, a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$

V<sub>u</sub> = volume do corpo de prova saturado de água (verde) (cm<sup>3</sup>).

A massa específica aparente a 12% de umidade foi determinada através dos corpos de prova orientados, com dimensões de 2 x 3 x 5 cm, que foram também usados para a determinação das contrações e coeficiente de anisotropia.

Da mesma forma que os discos, os corpos de prova foram saturados em água. Após a saturação, o volume foi determinado pelo método estereométrico, através da medição das dimensões do corpo de prova com auxílio de micrômetro e paquímetro. Na ocasião os corpos de prova foram também pesados.

Obtidos os dados de volume e peso verde, os corpos-de-prova foram colocados em câmara climatizada a 65% de Umidade Relativa e 22° C de temperatura até a umidade de equilíbrio de 12%. Após a climatização, os corpos-de-prova foram novamente pesados e medidos.

O volume e peso secos (0% de umidade) foram obtidos após a colocação dos corpos-de-prova em estufa a 103± 2°C, por 48 horas.

Com este dados foram aplicadas as fórmulas:

$$\text{MEA (12\%)} = \text{M12\%} / \text{V12\%} \text{ ( g/cm}^3\text{)}$$

onde:

MEA= massa específica aparente a 12% de umidade da madeira

M12% = massa do corpo de prova climatizado a 12% de umidade de equilíbrio

V12% = volume do corpo de prova climatizado a 12% de umidade de equilíbrio

$$\beta(t, r, l) = (L_u - L_o) / L_u \times 100 \text{ (\%)}$$

$$\beta_V = (V_u - V_o) / V_u \times 100 \text{ (\%)}$$

$$\text{C.A.} = \beta_t / \beta_r$$

onde:

$\beta$  = coeficiente de contração máxima (%)

CA= coeficiente de anisotropia

$L_u$ = média das dimensões no estado verde (mm)

$L_o$ = média das dimensões após secagem em estufa a 103± 2°C (mm)

$P_o$ = massa do corpo de prova seco em estufa a 103± 2°C ( g)

$V_u$ = volume do corpo de prova no estado verde (mm<sup>3</sup>)

$V_o$ = volume do corpo de prova seco em estufa a 103± 2°C

V = volumétrica

t = direção tangencial

r = direção radial

l = direção longitudinal

### **3.4 Propriedades mecânicas da madeira**

A determinação das propriedades mecânicas da madeira obedeceu a Norma ABNT NBR 7190 para as propriedades de compressão paralela às fibras; cisalhamento e dureza Janka. Para a determinação da flexão estática foi utilizada a Norma COPANT.....

Todos os testes mecânicos foram feitos em corpos-de-prova climatizados a 12% de umidade de equilíbrio em Máquina universal de ensaios com capacidade para 30000 Kg.

O teste de compressão paralela às fibras é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção quadrada de 5,0 cm de lado e comprimento de 15 cm.

A resistência ao cisalhamento foi feito paralelo às fibras da madeira e é a máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo-de-prova prismático.

A flexão estática é dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo-de-prova, considerando que a madeira é elástica.

A dureza da madeira, proposta por Janka, é determinada convencionalmente pela tensão que, atuante em uma das faces de um corpo-de-prova prismático, produz a penetração de uma semi-esfera de aço com área diametral de 1 cm<sup>2</sup>.

### **3.5 Análise Estatística**

Na análise estatística foi aplicado o teste de Tukey (teste de médias), ao nível de 5% de probabilidade, procurando-se avaliar as diferenças entre famílias e entre posições (alturas de coleta do material).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Porcentagem de lenho tardio**

A partir das medições realizadas nos discos a diferentes alturas, das 30 árvores coletadas, foi possível a construção dos perfis das árvores médias de cada família avaliada. Estes perfis podem ser visualizados nas Figuras 01, 02, 03, 04, 05 e 06, sendo que estas são

constituídas por quadros, contendo as porcentagens de lenho tardio e inicial de todos os anéis de crescimento existentes em cada disco avaliado. Sempre o anel 1 (1LI e 1 LT) é o anel de crescimento mais próximo da medula. Portanto, quanto maior o número do anel, mais próximo da casca.

Observando as Figuras 01, 02, 03, 04, 05 e 06, pode-se constatar que a árvore média da família de *Pinus taeda* começa a ter uma variação na proporção de lenho tardio e inicial a partir do oitavo anel de crescimento, com aumento da porcentagem de lenho tardio, e conseqüente diminuição do lenho inicial. Observando-se as cinco árvores desta família, o comportamento é o mesmo sendo que esta variação na proporção inicia a partir do sexto e vai até o oitavo anel de crescimento.

Para as famílias pertencentes ao *Pinus greggii* isto não acontece, sendo que a proporção de lenho inicial e tardio se mantém ao longo dos anéis de crescimento.

Para a melhor avaliação do comportamento das proporções de lenho inicial e tardio foram construídos gráficos das árvores médias de cada família, representando a posição do DAP, que corresponde a mesma altura para todas as árvores avaliadas. Esta metodologia permite a comparação entre as famílias avaliadas. Estes gráficos podem ser vistos nas Figuras 07, 08, 09, 10, 11 e 12.

Família	Posição	1LI	1LT	2LI	2LT	3LI	3LT	4LI	4LT	5LI	5LT	6LI	6LT	7LI	7LT	8LI	8LT	9LI	9LT	10LI	10LT
999	A	85,51	14,49	80,79	19,21	82,77	17,23	82,41	17,59	77,58	22,42	75,86	24,14	71,65	28,35	64,38	35,62	52,00	48,00	57,14	42,86
999	B	77,22	22,78	85,77	14,23	83,38	16,62	82,47	17,53	78,81	21,19	75,99	24,01	71,56	28,44	64,40	35,60	77,78	22,22		
999	C	79,45	20,55	86,26	13,74	86,51	13,49	83,61	16,39	81,23	18,77	75,77	24,23	72,90	27,10	65,04	34,96				
999	D	89,35	10,65	87,08	12,92	86,65	13,35	81,07	18,93	81,94	18,06	100,00	0,00								
999	E	85,80	14,20	84,97	15,03	80,91	19,09														

Figura 01 – Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 999 (*Pinus taeda*)

Família	Posição	1LI	1LT	2LI	2LT	3LI	3LT	4LI	4LT	5LI	5LT	6LI	6LT	7LI	7LT	8LI	8LT	9LI	9LT
30	A	87,24	12,76	88,73	11,27	88,20	11,80	84,67	15,33	81,35	18,65	84,29	15,71	79,18	20,82	80,14	19,86	92,00	8,00
30	B	87,70	12,30	89,78	10,22	89,51	10,49	86,20	13,80	84,09	15,91	83,46	16,54	78,14	21,86	78,93	21,07		
30	C	87,71	12,29	89,63	10,37	88,71	11,29	89,12	10,88	88,57	11,43	82,54	17,46	85,18	14,82	66,67	33,33		
30	D	88,71	11,29	89,95	10,05	92,05	7,95	87,63	12,37	93,46	6,54	93,33	6,67						
30	E	88,82	11,18	88,80	11,20	92,16	7,84												

Figura 02 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 30 (*Pinus greggii*)

Família	Posição	1LI	1LT	2LI	2LT	3LI	3LT	4LI	4LT	5LI	5LT	6LI	6LT	7LI	7LT	8LI	8LT	9LI	9LT
38	A	91,77	8,23	94,12	5,88	93,55	6,45	91,09	8,91	90,40	9,60	82,00	18,00	75,40	24,60	80,44	19,56	92,86	7,14
38	B	94,10	5,90	94,62	5,38	91,98	8,02	87,86	12,14	89,67	10,33	83,11	16,89	85,64	14,36	87,50	12,50		
38	C	93,86	6,14	93,78	6,22	92,89	7,11	91,07	8,93	87,75	12,25	82,94	17,06	74,07	25,93	88,89	11,11		
38	D	91,20	8,80	93,89	6,11	92,73	7,27	89,39	10,61	89,06	10,94	78,33	21,67						
38	E	92,84	7,16	93,44	6,56	88,19	11,81												

Figura 03 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 38 (*Pinus greggii*)

Família	Posição	1LI	1LT	2LI	2LT	3LI	3LT	4LI	4LT	5LI	5LT	6LI	6LT	7LI	7LT	8LI	8LT	9LI	9LT
39	A	84,53	15,47	87,92	12,08	89,04	10,96	90,42	9,58	90,28	9,72	83,75	16,25	81,46	18,54	78,33	21,67	89,29	10,71
39	B	90,42	9,58	90,58	9,42	91,68	8,32	89,93	10,07	86,08	13,92	87,82	12,18	79,76	20,24	76,25	23,75		
39	C	90,85	9,15	91,75	8,25	91,60	8,40	87,01	12,99	88,95	11,05	84,48	15,52	82,86	17,14	100,00	0,00		
39	D	89,19	10,81	92,13	7,87	92,08	7,92	87,53	12,47	89,48	10,52	100,00	0,00						
39	E	89,29	10,71	90,09	9,91	93,38	6,62												

Figura 04 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 39 (*Pinus greggii*)

Família	Posição	1LI	1LT	2LI	2LT	3LI	3LT	4LI	4LT	5LI	5LT	6LI	6LT	7LI	7LT	8LI	8LT	9LI	9LT
43	A	91,74	8,26	93,40	6,60	92,11	7,89	90,56	9,44	88,64	11,36	87,39	12,61	81,64	18,36	77,00	23,00	80,68	19,32
43	B	91,48	8,52	93,13	6,87	91,66	8,34	79,45	20,55	73,23	26,77	64,44	35,56	68,11	31,89	86,11	13,89		
43	C	90,25	9,75	94,27	5,73	89,40	10,60	91,03	8,97	85,49	14,51	84,92	15,08	80,83	19,17				
43	D	93,88	6,12	91,87	8,13	92,50	7,50	89,37	10,63	88,03	11,97								
43	E	90,57	9,43	92,64	7,36	93,33	6,67												

Figura 05 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 43 (*Pinus greggii*)

Família	Posição	1LI	1LT	2LI	2LT	3LI	3LT	4LI	4LT	5LI	5LT	6LI	6LT	7LI	7LT	8LI	8LT	9LI	9LT
45	A	86,16	13,84	93,16	6,84	92,79	7,21	90,05	9,95	88,78	11,22	89,21	10,79	83,78	16,22	80,75	19,25	79,14	20,86
45	B	91,87	8,13	94,14	5,86	89,49	10,51	90,97	9,03	88,60	11,40	84,73	15,27	78,57	21,43	84,52	15,48		
45	C	91,84	8,16	93,78	6,22	92,67	7,33	90,12	9,88	84,48	15,52	85,18	14,82	84,28	15,72				
45	D	93,61	6,39	92,48	7,52	91,61	8,39	89,94	10,06	87,08	12,92								
45	E	92,75	7,25	90,96	9,04														

Figura 06 - Perfil da porcentagem de lenho tardio e inicial da árvore média da família 45 (*Pinus greggii*)

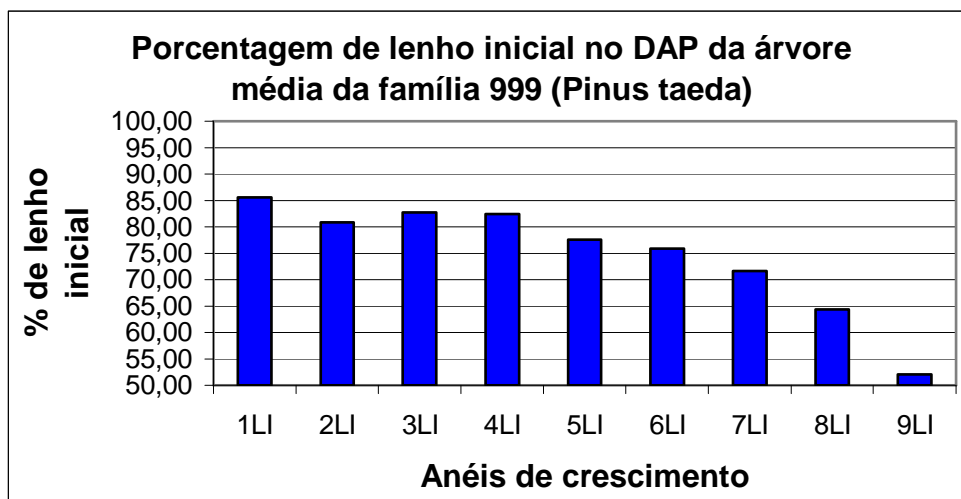


Figura 07 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 999 (*Pinus taeda*)

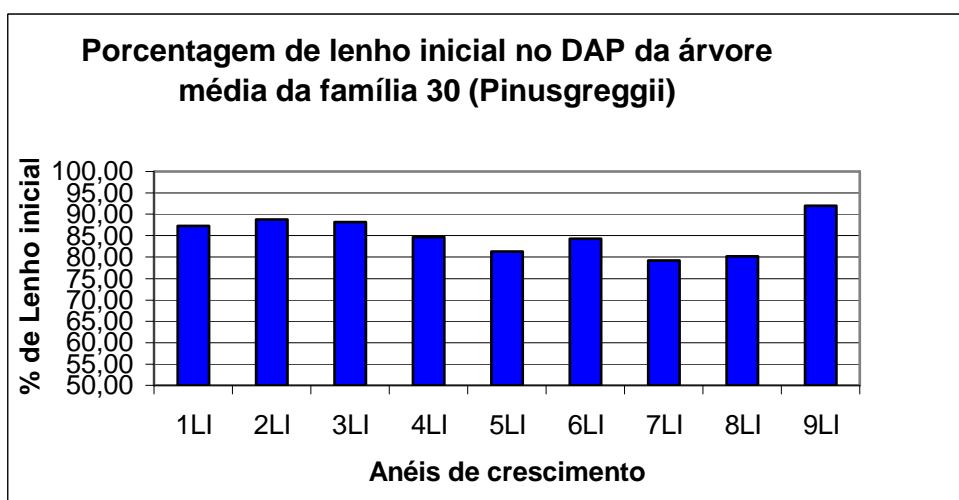


Figura 08 - Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 30 (*Pinus greggii*)

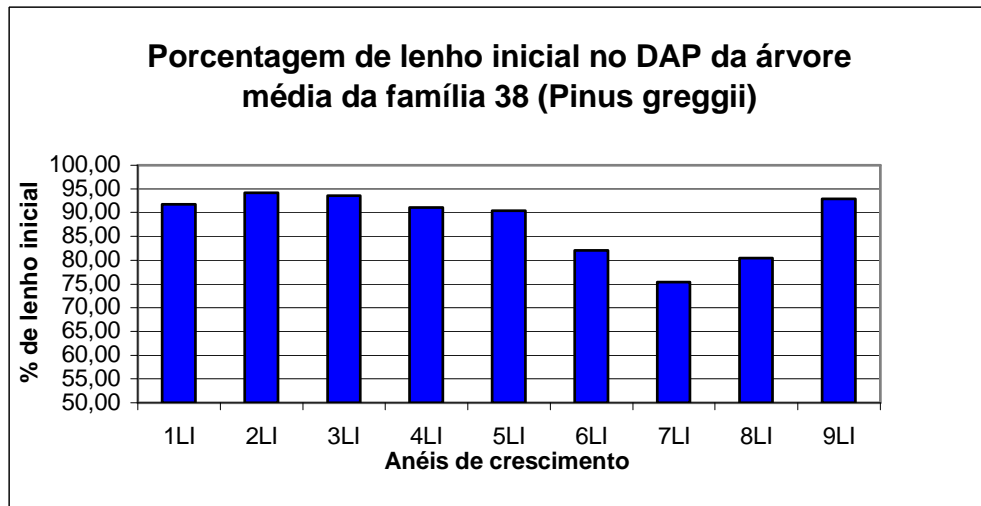


Figura 09 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 38 (*Pinus greggii*)

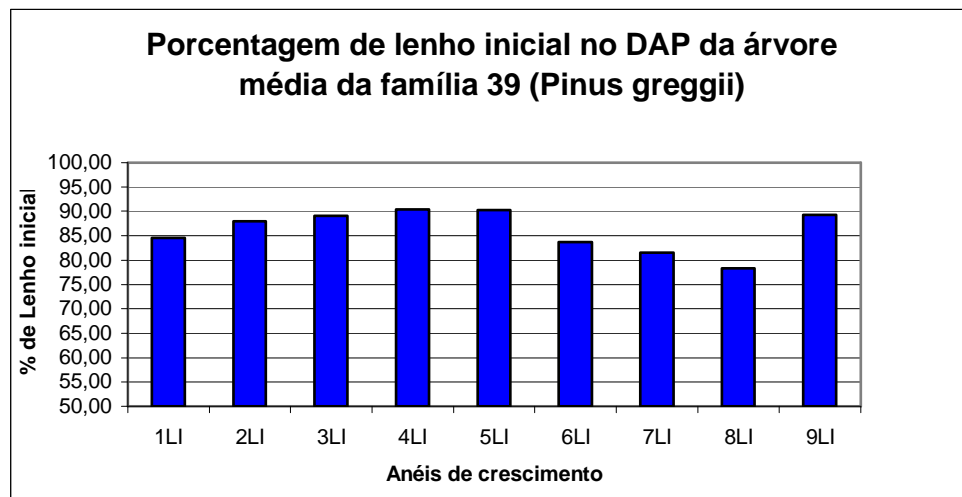


Figura 10 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 39 (*Pinus greggii*)

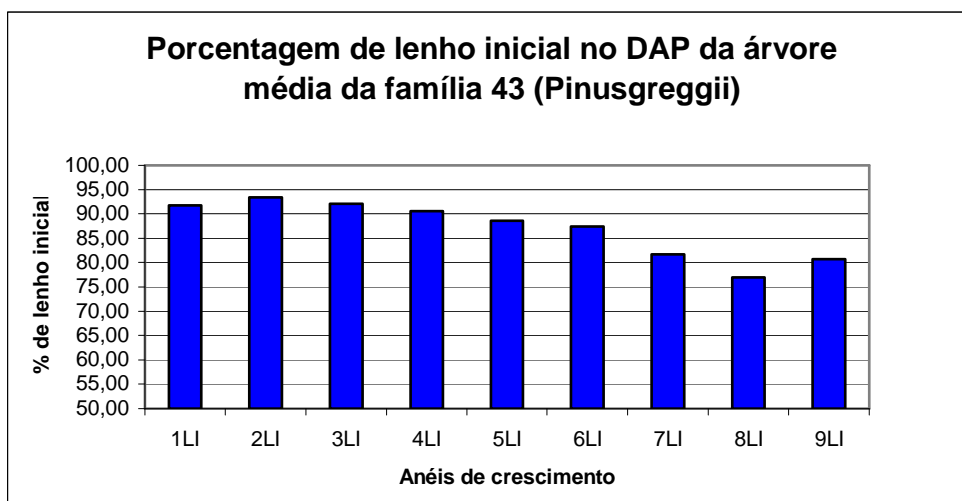


Figura 11 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 43 (*Pinus greggii*)

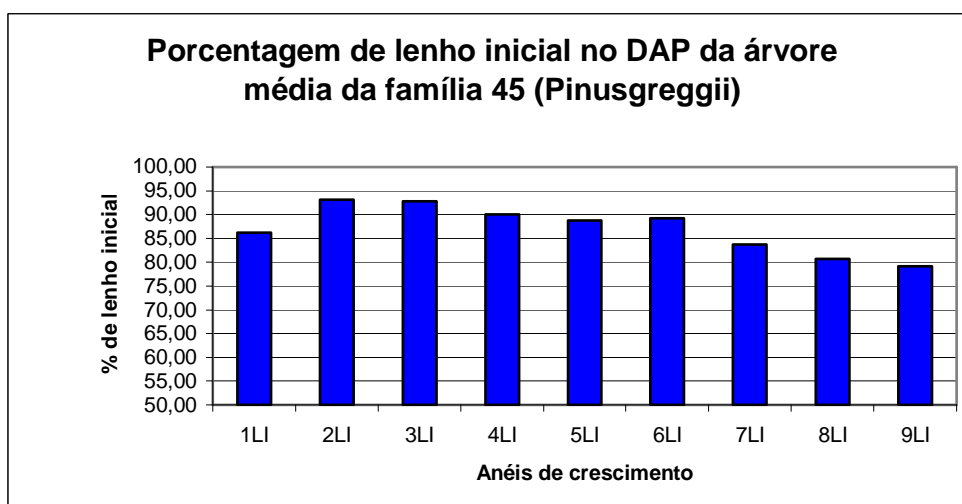


Figura 12 – Variação da porcentagem de lenho inicial no DAP da árvore média da família 45 (*Pinus greggii*)

Observando os gráficos das figuras fica claro que o comportamento das proporções de lenho inicial e tardio são diferentes para o *Pinus taeda* e para o *Pinus greggii* ao longo da idade das árvores, como já descrito anteriormente.

Utilizando-se o Teste de médias de Tukey, para uma probabilidade de 95%, pode-se constatar que:

Com relação ao diâmetro

- ✓ Para o primeiro anel de crescimento, próximo da medula, existe diferença significativa entre o *Pinus taeda* e todas as famílias do *Pinus greggii*, sendo que o *P. taeda* tem menor quantidade de lenho inicial que o *P. greggii*.

- ✓ Para o segundo anel de crescimento, em relação à medula, existe diferença significativa no entre o *Pinus taeda* (menor porcentagem de lenho inicial) e todas as famílias do *Pinus greggii*. Dentro da espécie de *Pinus greggii*, entre a família 30 e as famílias 38, 43 e 45, e entre a família 38 e 39. Daí, pode-se concluir que a família de *Pinus greggii* com maior porcentagem de lenho inicial é a de número 38 e a com menor porcentagem de lenho inicial é a 30.
- ✓ Para o terceiro anel de crescimento, em relação à medula, existe diferença significativa no entre o *Pinus taeda* (menor porcentagem de lenho inicial) e todas as famílias de *Pinus greggii*
- ✓ Para o quarto anel de crescimento, em relação à medula, existe diferença significativa entre o *Pinus taeda* e as famílias 38, 39 e 45 do *Pinus greggii*, sendo que as famílias de *Pinus greggii* tem mais lenho inicial nesta posição que o *Pinus taeda*.
- ✓ Para o quinto e oitavo anéis de crescimento, em relação à medula, existe diferença significativa entre o *Pinus taeda* e a família 38 do *Pinus greggii*, novamente com o *Pinus taeda* com menor porcentagem de lenho inicial.
- ✓ Para os sexto, sétimo e nono anéis de crescimento, em relação à medula, não existe diferença significativa entre as famílias.

Com relação à altura

- ✓ Somente houve diferença significativa na porcentagem de lenho tardio e inicial para o sexto anel de crescimento, onde houve diferença significativa entre a posição de 16% e 66% da altura comercial. Para todos os demais anéis de crescimento, em um mesmo anel em diferentes alturas não houve variação.

## 4.2 Propriedades físicas da madeira

As Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mostram os resultados das propriedades físicas da madeira para as diferentes famílias e espécies avaliadas:

Tabela 3 – Propriedades físicas da madeira da espécie de *Pinus taeda*

Família	Seção	MEB	MEA12%	Br	Bt	Bl	BV	CA
999	A	0,37	0,44	2,83	4,91	-0,27	7,33	1,93
999	B	0,36	0,42	3,15	4,82	-0,27	7,57	1,56
999	C	0,34	0,40	3,37	4,97	-0,71	7,53	1,58
999	D	0,33	0,39	2,29	4,75	-0,46	6,51	2,26
999	E	0,33	0,38	1,51	2,58	-0,53	3,54	2,00

Tabela 4 – Propriedades físicas da madeira da espécie de *Pinus greggii* (Família 30)

Família	Seção	MEB	MEA12%	Br	Bt	Bl	BV	CA
30	A	0,35	0,42	2,17	4,73	0,04	6,84	2,22
30	B	0,37	0,44	1,58	4,26	-0,08	6,57	2,75
30	C	0,36	0,42	2,58	4,50	-0,37	6,57	1,92
30	D	0,36	0,41	1,61	3,82	-0,21	5,09	2,60
30	E	0,33	0,38	1,69	2,35	-0,35	3,75	1,62

Tabela 5 – Propriedades físicas da madeira da espécie de *Pinus greggii* (Família 38)

Família	Seção	MEB	MEA12%	Br	Bt	Bl	BV	CA
38	A	0,35	0,41	2,72	5,22	0,32	8,09	2,02
38	B	0,34	0,39	3,35	5,05	0,17	8,39	1,59
38	C	0,34	0,40	3,52	5,09	0,29	8,70	1,52
38	D	0,33	0,38	2,80	4,32	0,41	7,38	1,61
38	E	0,32	0,37	2,56	3,75	0,40	6,59	1,53

Tabela 6 – Propriedades físicas da madeira da espécie de *Pinus greggii* (Família 39)

Família	Seção	MEB	MEA12%	Br	Bt	Bl	BV	CA
39	A	0,33	0,38	1,73	4,66	-0,60	5,73	3,00
39	B	0,32	0,38	2,41	5,14	-0,49	6,79	2,34
39	C	0,34	0,40	2,58	4,29	-0,54	6,26	1,80
39	D	0,35	0,40	1,86	4,57	-0,52	5,90	2,74
39	E	0,33	0,37	1,76	2,82	-0,56	3,94	1,83

Tabela 7 – Propriedades físicas da madeira da espécie de *Pinus greggii* (Família 43)

Família	Seção	MEB	MEA12%	Br	Bt	Bl	BV	CA
43	A	0,37	0,44	3,95	6,17	0,20	10,28	1,59
43	B	0,35	0,41	4,17	4,96	0,44	9,32	1,21
43	C	0,35	0,42	3,93	5,30	0,18	9,18	1,38
43	D	0,33	0,38	3,47	4,94	0,35	8,56	1,44
43	E	0,33	0,38	2,62	3,45	0,32	6,28	1,38

Tabela 8 – Propriedades físicas da madeira da espécie de *Pinus greggii* (Família 45)

Família	Seção	MEB	MEA12%	Br	Bt	Bl	BV	CA
45	A	0,38	0,45	3,45	5,59	0,44	9,13	1,65
45	B	0,37	0,43	3,83	4,92	0,36	8,88	1,32
45	C	0,35	0,41	3,50	4,53	0,57	8,40	1,33
45	D	0,34	0,39	3,05	4,28	0,34	7,52	1,46
45	E	0,31	0,39	2,37	3,22	0,52	6,00	1,37

As tabelas anteriores demonstram os resultados de cada família avaliada, sendo que a Tabela 9 apresenta os dados comparativos das propriedades físicas, na mesma altura de coleta de todas as famílias avaliadas.

Tabela 9 – Dados comparativos das propriedades físicas das famílias avaliadas

Família	Seção	MEB	MEA12%	Br	Bt	Bl	BV	CA
999	DAP	0,37	0,44	2,83	4,91	-0,27	7,33	1,93
30	DAP	0,35	0,42	2,17	4,73	0,04	6,84	2,22
38	DAP	0,35	0,41	2,72	5,22	0,32	8,09	2,02
39	DAP	0,33	0,38	1,73	4,66	-0,60	5,73	3,00
43	DAP	0,37	0,44	3,95	6,17	0,20	10,28	1,59
45	DAP	0,38	0,45	3,45	5,59	0,44	9,13	1,65

Avaliando-se a Tabela 9 pode-se perceber que no DAP, as famílias com maior massa específica são a de número 45 (*Pinus greggii*), seguida das famílias 43 (*Pinus greggii*), 999 (*Pinus taeda*), 30, 38 e 39 (*Pinus greggii*), tanto para massa específica básica (MEB), quanto para massa específica aparente a 12% de umidade (MAE12%).

Tendo o *Pinus taeda* como testemunha, a família 45 apresenta valores superiores aos da testemunha e a 43, valores iguais.

Para as contrações, a família com maiores contrações radiais, tangenciais e volumétricas foi a de número 43, seguida da 45. Para estas propriedades a família que mais se aproxima da testemunha é a família 30, a exemplo do que aconteceu com a porcentagem de lenho tardio e inicial, porém a com menores valores de contrações foi a família 39.

No entanto, somente os valores de contração não indicam, isoladamente, a qualidade da madeira. Estes valores devem ser comparados aos valores de coeficiente de anisotropia. Valores de coeficiente de anisotropia entre 1,5 e 2,0 indicam que a madeira terá bom comportamento da secagem com menores proporções de defeitos.

Assim, apesar da família 43 ter os maiores índices de contração, seu coeficiente de anisotropia é o mais baixo, indicando bom comportamento da madeira frente a secagem. A família com um coeficiente de anisotropia preocupante é a de número 39.

Assim, avaliando-se de forma geral, para as propriedades mecânicas, a madeira de melhor qualidade, ou seja, maior massa específica, melhor proporção entre as contrações nos diferentes sentidos é a família 45, seguida das famílias 999 (testemunha) e 43. A família com dados de propriedades físicas menos desejáveis é a família 39, com menor massa específica e maior coeficiente de anisotropia.

Para a melhor visualização da variação de massa específica existente dentro das árvores das famílias foram feitos os gráficos das Figuras 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19.

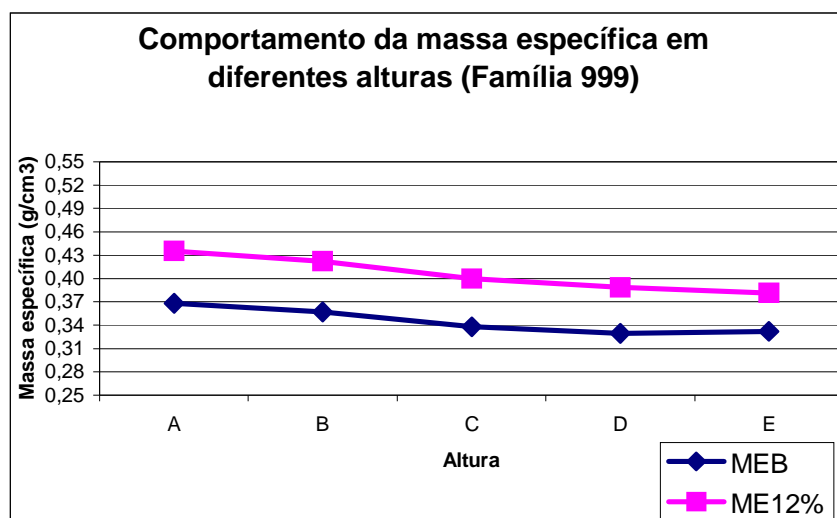


Figura 13 – Massa específica da madeira de *Pinus taeda* ao longo da altura da árvore.

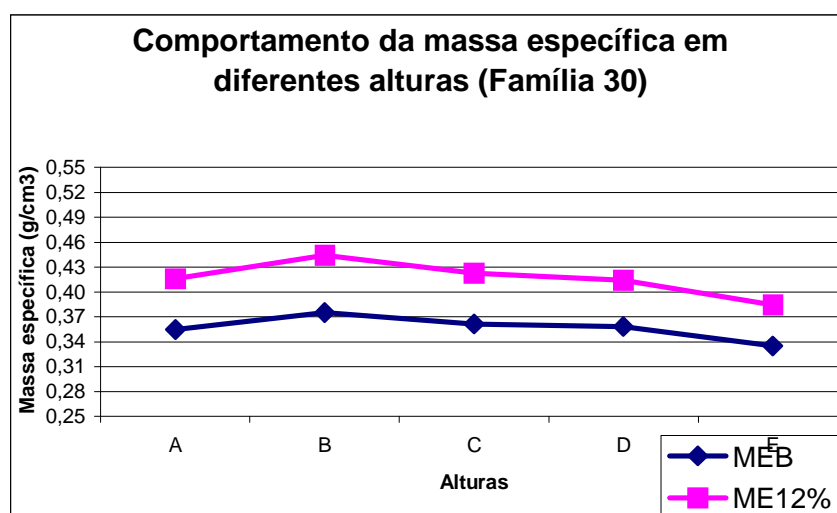


Figura 14 – Massa específica da madeira de *Pinus greggii* (Família 30) ao longo da altura da árvore.

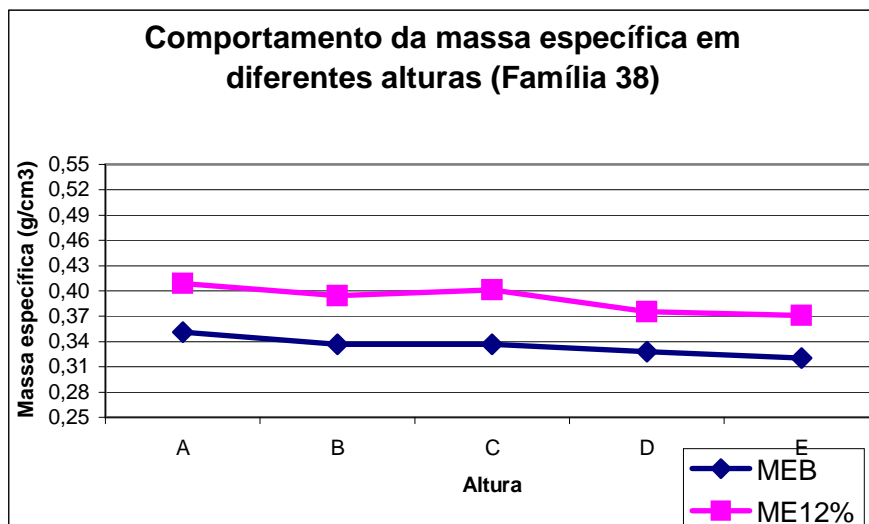


Figura 15 – Massa específica da madeira de *Pinus greggii* (Família 38) ao longo da altura da árvore.

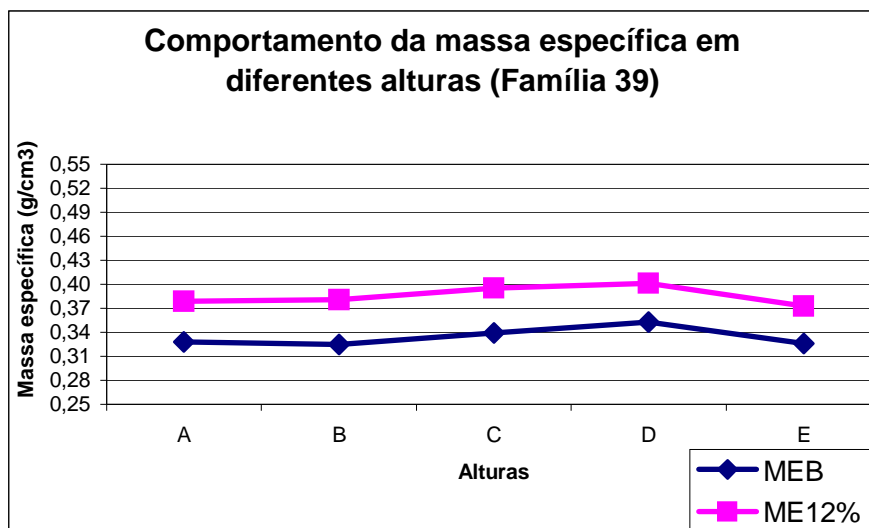


Figura 16 – Massa específica da madeira de *Pinus greggii* (Família 39) ao longo da altura da árvore.

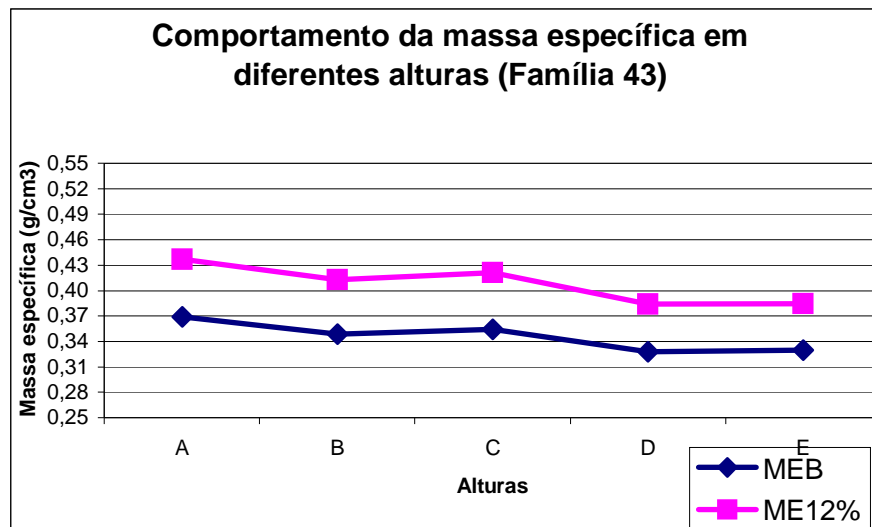


Figura 17 – Massa específica da madeira de *Pinus greggii* (Família 43) ao longo da altura da árvore.

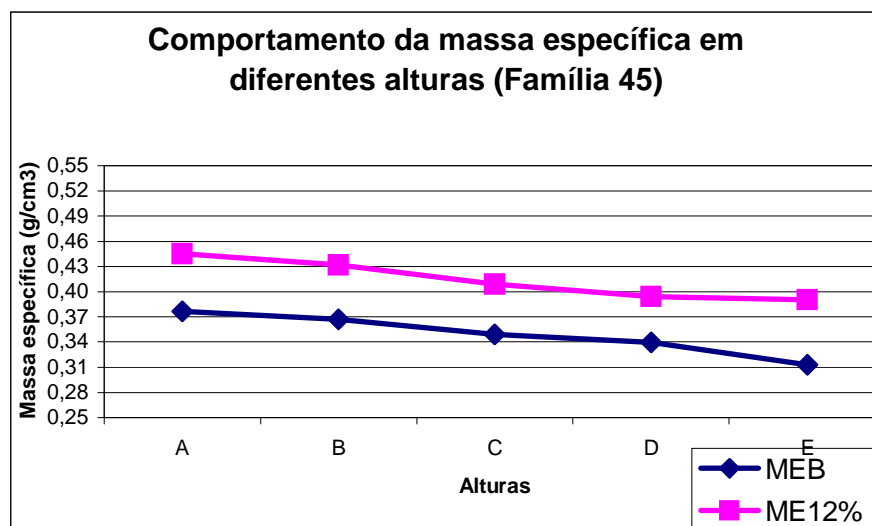


Figura 18 – Massa específica da madeira de *Pinus greggii* (Família 45) ao longo da altura da árvore.

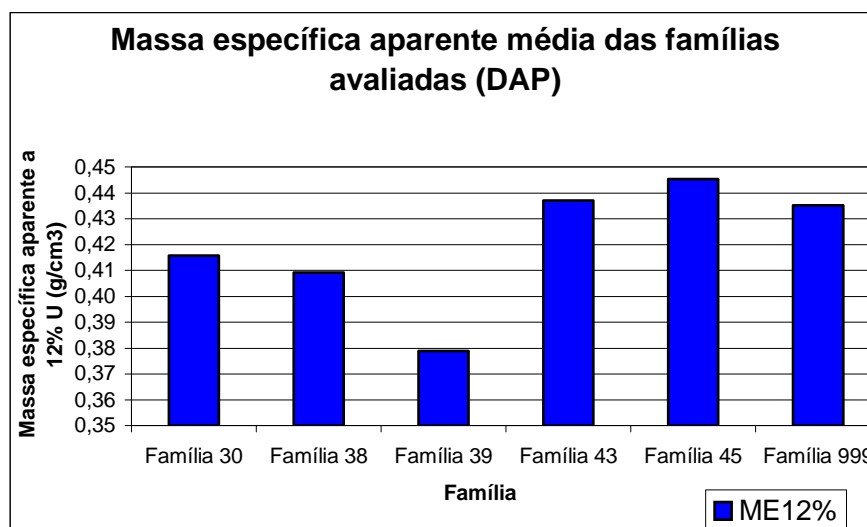


Figura 19 – Comparação da massa específica entre as Famílias avaliadas na altura do DAP

O comportamento da massa específica das Famílias avaliadas foi o esperado, apesar da idade das árvores indicar que existe somente lenho juvenil. Assim, a massa específica diminui da base para o topo das árvores, sendo que este comportamento é facilmente visualizado nas famílias 999, 38, 43 e 45.

Para as Famílias 30 e 39 o comportamento não foi tão claro, sendo que percebeu-se uma leve elevação da massa específica seguida da queda esperada.

Através da avaliação estatística pelo Teste de Tukey constatou-se que:

- ✓ Não existe diferença significativa entre a massa específica básica do *Pinus taeda* (testemunha) e as famílias do *Pinus greggii*.
- ✓ Existe diferença significativa entre as famílias 30 e 38 e 39 e entre as família 38 e 45 do *Pinus greggii*, sendo que as famílias 30, 38 e 39, de forma geral tem massa específica básica menor que as demais famílias.
- ✓ Com relação à altura das árvores, a posição de 100% da altura comercial tem valores de massa específica básica diferentes de todas as outras posições da árvore. A posição do DAP não apresenta diferença significativa somente com a posição de 16% da altura comercial, que na coleta estavam muito próximas., sendo diferente em termos de massa específica básica com todas as outras posições.
- ✓ Para a massa específica aparente a 12% de umidade as famílias 999, 43 e 45 apresentaram valores similares não sendo diferentes significativamente. Porém estas três famílias apresentaram valores diferentes significativamente com relação as

famílias 38 e 39. Além disso, a família 30 apresentou valores diferentes das famílias 38 e 39.

- ✓ Para massa específica aparente a 12%, as posições de 66% e 100% da altura comercial são homogêneas, com massa específica mais baixa e as posição DAP e 16% da altura comercial também, com valores mais altos, existindo variação significativa entre estes dois grupos, sendo que a posição de 33% da altura comercial difere da posição do DAP e das posição de 66% e 100% da altura comercial, sendo semelhante somente a posição de 16% da altura comercial.

As Figuras 20, 21, 22, 23, 24 e 25 mostram o comportamento das contrações da madeira e as Figuras 26 e 27 sobre o coeficiente de anisotropia.

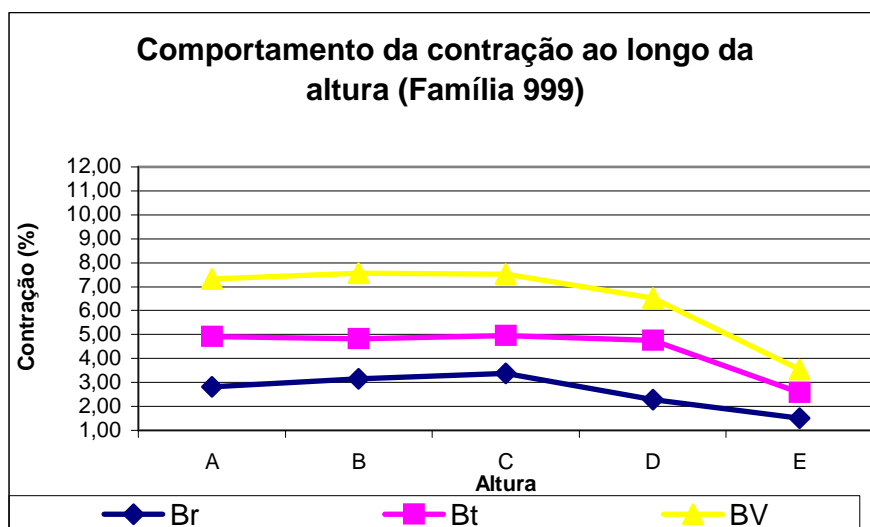


Figura 20 – Contrações radiais (Br), tangencias (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de *Pinus taeda* (Família 999) ao longo da altura da árvore.

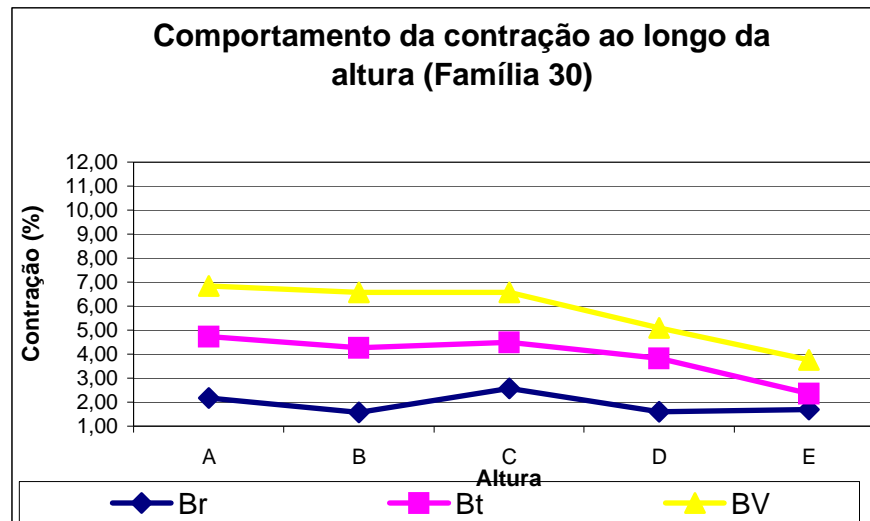


Figura 21 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de *Pinus greggii* (Família 30) ao longo da altura da árvore.

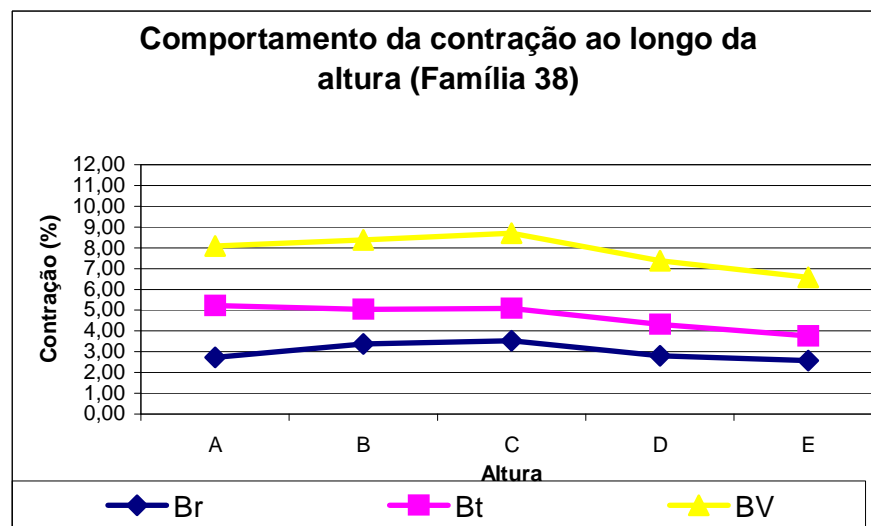


Figura 22 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de *Pinus greggii* (Família 38) ao longo da altura da árvore.

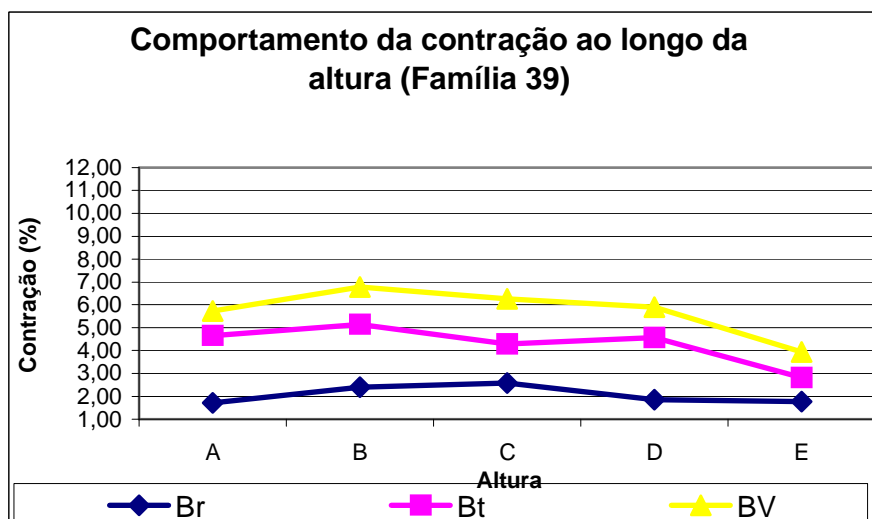


Figura 23 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de *Pinus greggii* (Família 39) ao longo da altura da árvore

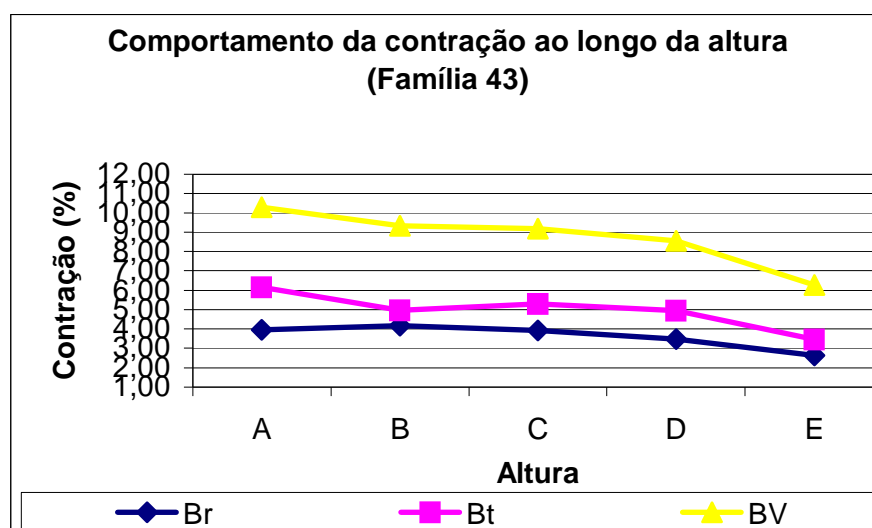


Figura 24 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de *Pinus greggii* (Família 43) ao longo da altura da árvore

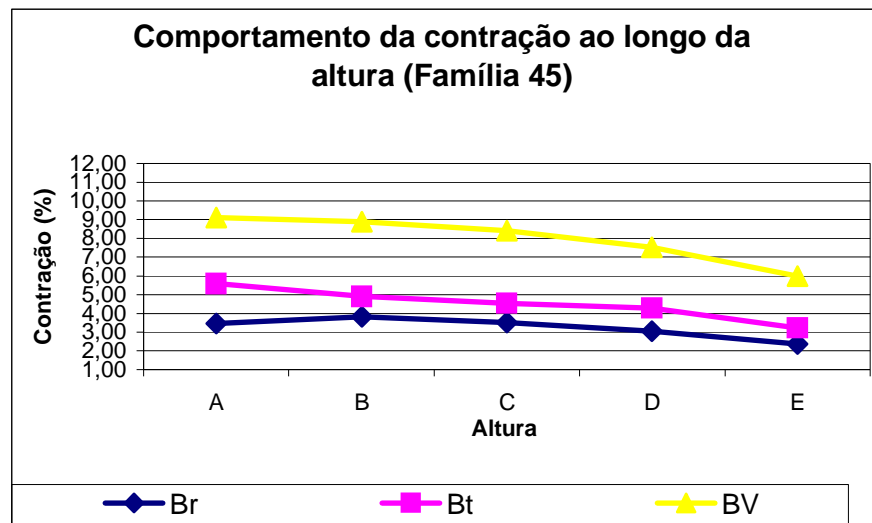


Figura 25 – Contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) da madeira de *Pinus greggii* (Família 45) ao longo da altura da árvore.

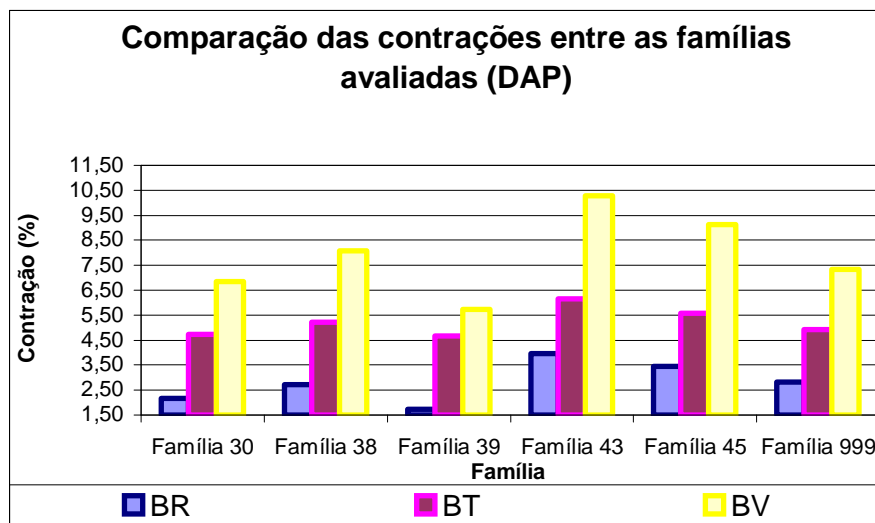


Figura 26 – Comparação das contrações radiais (Br), tangenciais (BT) e volumétricas (Bv) entre as famílias avaliadas na altura do DAP

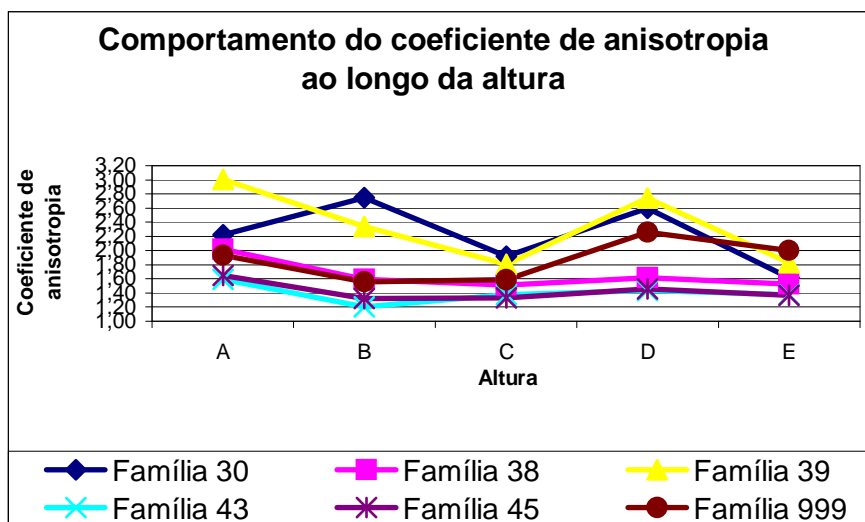


Figura 27 – Comparação do coeficiente de anisotropia entre as Famílias avaliadas, ao longo da altura da árvore

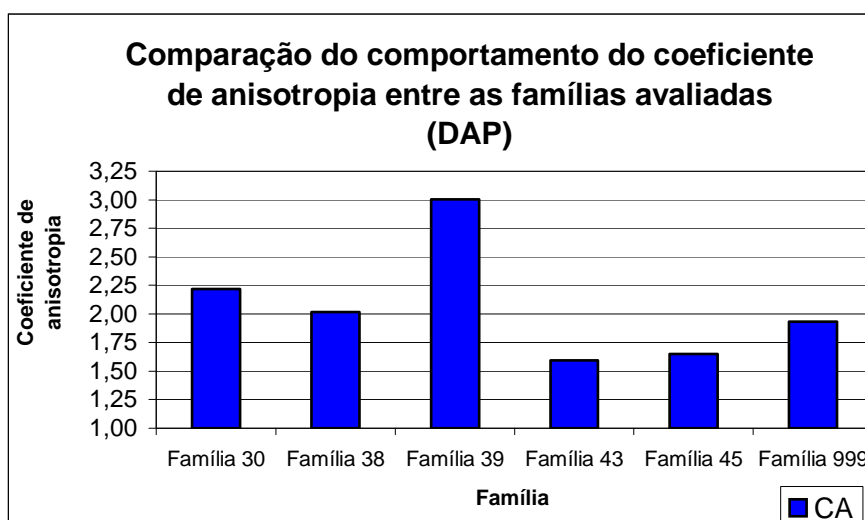


Figura 28 - Comparação do coeficiente de anisotropia entre as Famílias avaliadas no DAP

As contração ao longo da altura das árvores decresce com o decréscimo da massa específica, com diminuição mais acentuada entre 66 e 100% da altura comercial.

Para o coeficiente da anisotropia, as famílias que apresentaram comportamento mais homogêneo ao longo da altura das árvores foram as de número 43, 45 e 38, sendo que as de número 999, 39 e 30 apresentaram variações desta propriedades ao longo da altura.

Através da análise estatística, pode-se perceber que:

- ✓ Para a contração tangencial, a família 43 (valores de contração mais elevados) foi significativamente diferente das famílias 30 e 39 (valores mais baixos), sendo as

demais sem diferença significativa entre si. Com relação a posição a contração tangencial varia significativamente entre a base e o topo da árvore, sendo as posições do DAP e 16% da altura comercial homogêneas, a posição de 33% da altura comercial diferente do DAP e dos 100% da altura comercial e a contração dos 100% diferente de todas as demais posições.

- ✓ Para a contração radial, as famílias 38, 45 e 999 são similares entre si e diferem das demais famílias, sendo que este grupo tem valores de contração maiores que as demais famílias. Com relação a posição as posições do DAP, 16% e 33% da altura comercial tem o mesmo comportamento, diferindo significativamente das posições de 66% e 100% da altura comercial.
- ✓ Para a contração volumétrica, as famílias com maior contração são 43 e 45 (iguais estatisticamente), seguida das famílias 38 e as mais baixas são das famílias 30 e 39 (iguais estatisticamente). Com relação a posição o comportamento é o mesmo da contração radial.
- ✓ Para o coeficiente de anisotropia, entre as famílias a variação estatística não demonstrou nenhuma tendência clara e para a posição do DAP e a 66% da altura comercial apresentam valores mais similares, apresentando normalmente variação significativa com relação às outras posições da altura. Este comportamento já foi observado em outros trabalhos com *Pinus*, como em BRAND *et al* (2002), onde observa-se uma elevação do coeficiente de anisotropia entre 66% e 75% da altura comercial.

### 4.3 Propriedades mecânicas

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados da flexão estática das famílias avaliadas no trabalho

Para melhor visualização dos resultados obtidos serão apresentados em forma de gráficos os dados comparativos entre as famílias através das Figuras 29 e 30.

Tabela 10 – Valores de Flexão estática das famílias avaliadas no DAP

Família	Tensão de ruptura (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> )
Família 999	650,16	55040,23
Família 30	600,91	62991,74
Família 38	476,20	40468,90
Família 39	557,25	54958,32
Família 43	513,28	48704,35
Família 45	559,37	51339,14

**OBS:** Os valores obtidos, tanto para a tensão de ruptura como para o módulo de elasticidade são considerados baixos segundo MAINIERI & CHIMELO (1989).

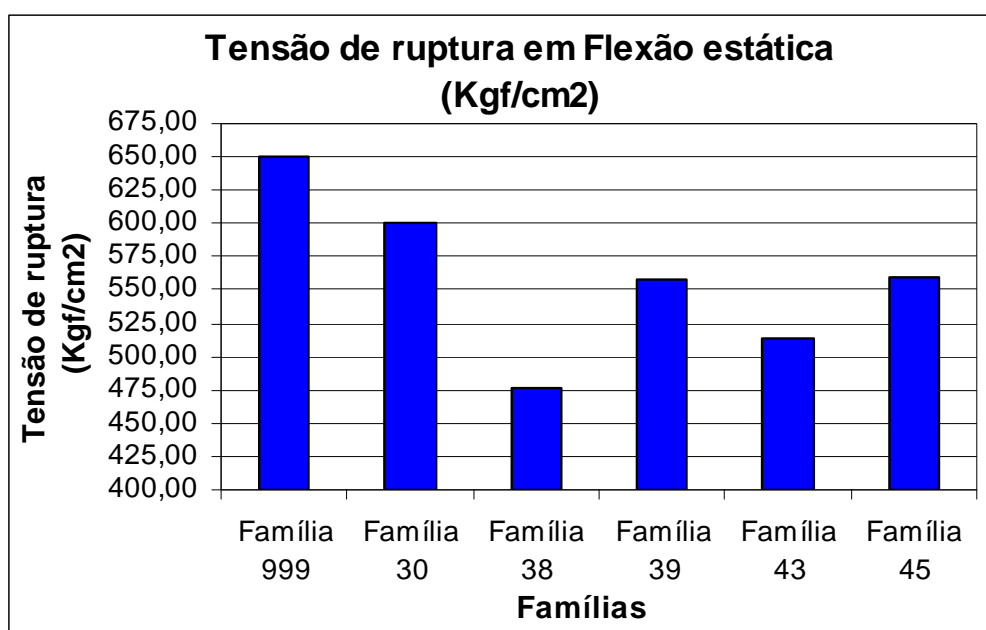


Figura 29 – Comparação da tensão máxima de ruptura exercida sobre os corpos de prova submetidos a esforços de flexão estática nas famílias avaliadas

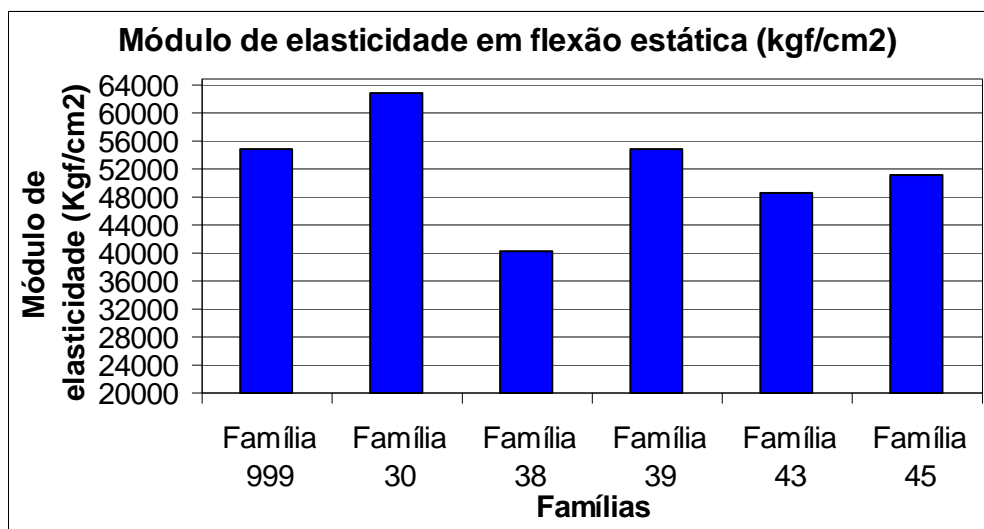


Figura 30 - Comparação do módulo de elasticidade dos corpos de prova submetidos a esforços de flexão estática nas famílias avaliadas

A análise estatística da propriedade de flexão estática do material demonstrou que a família com maior módulo de elasticidade é a de número 30 que difere significativamente das famílias 38 (módulo de elasticidade mais baixo), 43 (penúltimo valor mais baixo) e 45 (antepenúltimo valor mais baixo). Além disso, a família com pior desempenho em módulo de elasticidade (família 38) difere significativamente das famílias 30, 999, 39 e 45, sendo que estas são as primeiras, segunda, terceira e quarta famílias com melhor desempenho em módulo de elasticidade, respectivamente.

Para o módulo de ruptura as famílias com maior módulo de ruptura para a flexão são a 999 e 30, respectivamente, indicando que comparando-se com o *Pinus taeda* (999) a família com melhores propriedades de flexão para o *Pinus greggii* é a de número 30. A que apresentou pior desempenho foi a de número 38. Estatisticamente, houve diferença significativa entre a família 999 (melhor desempenho) e as famílias 45, 39, 43 e 38, que ocupam o terceiro, quarto, quinto e sexto desempenhos em qualidade de módulo de ruptura em flexão estática, respectivamente. Entre as famílias 999 e 30 não houve diferença significativa, como também não houve entre as famílias 38 e 43 e 39 (as com pior desempenho).

Para a compressão paralela às fibras, os resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de Compressão paralela às fibras das famílias avaliadas no DAP

Família	Tensão de ruptura (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (Kgf/cm <sup>2</sup> )
Família 999	272,69	72643,00
Família 30	267,67	81463,67
Família 38	263,64	90231,57
Família 39	248,53	76039,42
Família 43	287,04	126706,88
Família 45	288,31	125846,38

**OBS: Os valores obtidos, tanto para a tensão de ruptura como para o módulo de elasticidade são considerados baixos segundo MAINIERI & CHIMELO (1989). (1989), com exceção dos valores de módulo de elasticidade da família 43 e 45 que são considerados médios.**

Para melhor visualização dos resultados obtidos serão apresentados em forma de gráficos os dados comparativos entre as famílias através das Figuras 31 e 32.

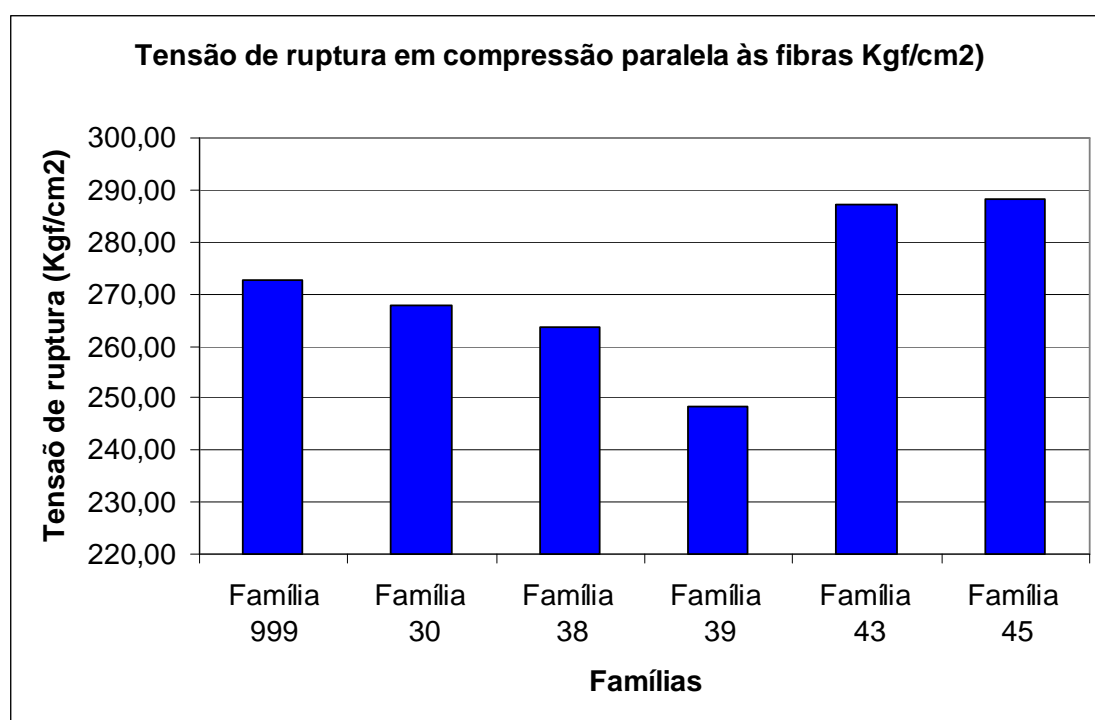


Figura 31 - Comparação da tensão máxima de ruptura exercida sobre os corpos de prova submetidos a esforços de compressão paralela às fibras nas famílias avaliadas

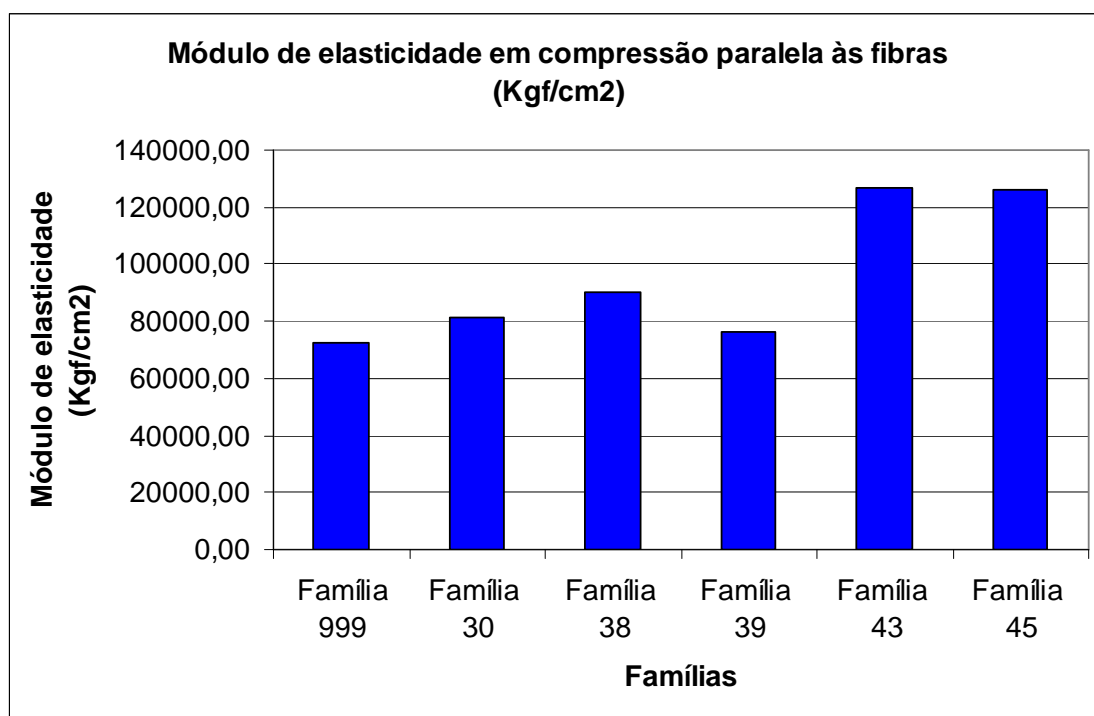


Figura 32 - Comparação do módulo de elasticidade dos corpos de prova submetidos a esforços de compressão paralela às fibras nas famílias avaliadas

Para a compressão paralela às fibras, as famílias com melhor desempenho foram as de número 43 e 45 (*Pinus greggii*) e as de pior desempenho foram as famílias de número 39 e 999, sendo que estatisticamente não houve diferença significativa para esta propriedade.

Para a dureza Janka, os resultados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de dureza Janka das famílias avaliadas no DAP

Família	Força máxima (Kgf)	Tensão na força máxima (Kgf/cm2)
Família 999	305,19	321,12
Família 30	258,13	271,62
Família 38	209,45	220,40
Família 39	199,97	210,43
Família 43	228,48	240,43
Família 45	252,29	265,48

**OBS: Os valores obtidos para a força máxima são considerados baixos segundo MAINIERI & CHIMELO (1989).**

Para melhor visualização dos resultados obtidos serão apresentados em forma de gráficos os dados comparativos entre as famílias através das Figuras 33 e 34.

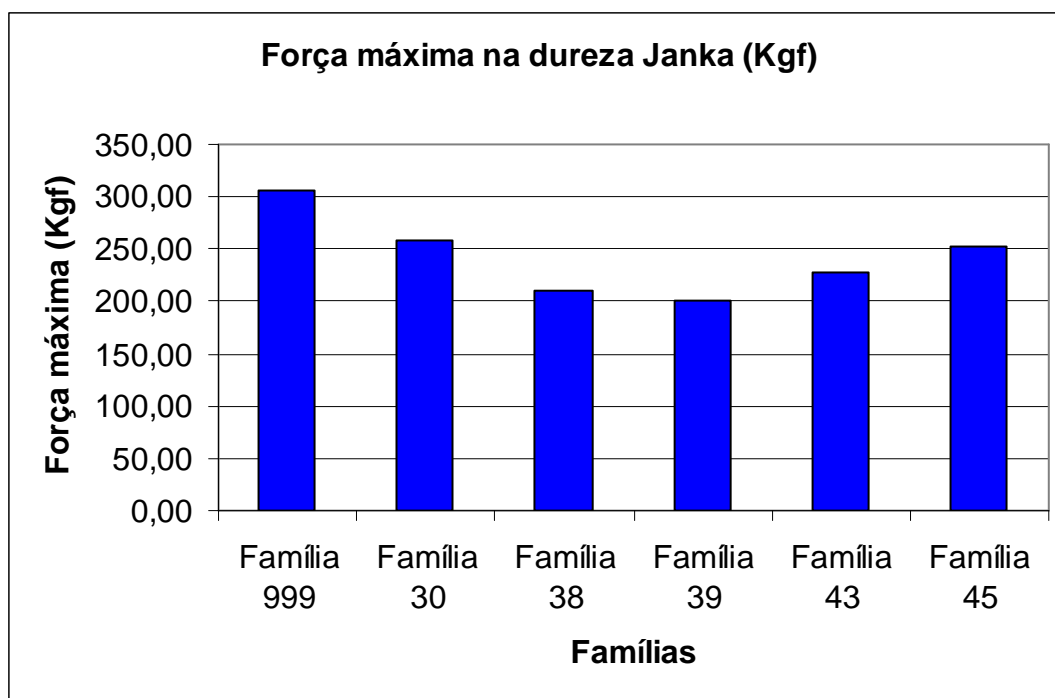


Figura 33 – Comparação da força máxima que os corpos de prova resistiram em teste de dureza Janka nas famílias avaliadas

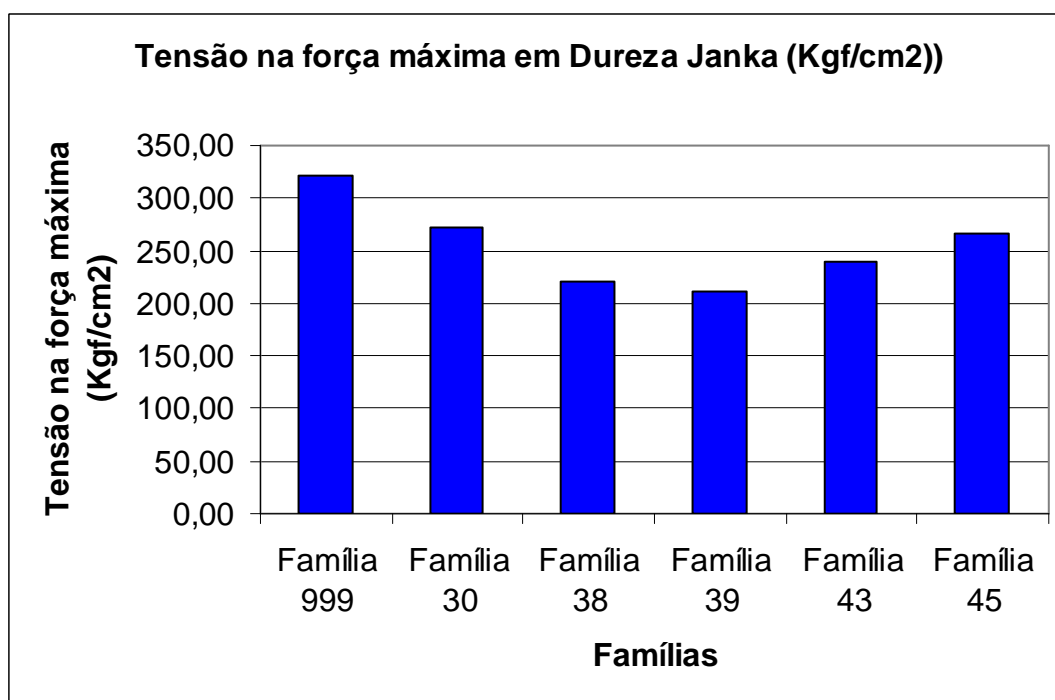


Figura 34 – Comparação da tensão da força máxima máxima que os corpos de prova resistiram em teste de dureza Janka nas famílias avaliadas

A família com maior dureza é a 999 (*Pinus taeda*), seguida das famílias 30, 45, 43, 38 e 39, respectivamente. Estatisticamente houve variação significativa entre a família 999 (maior dureza) com a 39 (menor dureza), tanto para o força máxima como para o tensão na força máxima, sendo as demais similares.

Para o cisalhamento, os resultados estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores de cisalhamento das famílias avaliadas no DAP

<b>Família</b>	<b>Tensão Máxima (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
Família 999	93,39
Família 30	96,19
Família 38	89,21
Família 39	89,06
Família 43	93,55
Família 45	93,14

**OBS: Os valores obtidos para a tensão máxima são considerados médios segundo MAINIERI & CHIMELO (1989).**

A família com maior resistência ao cisalhamento são as de número 30 e 999, respectivamente, sendo a de menor resistência as famílias 38 e 39, sendo que estatisticamente não houve diferença significativa entre todas as famílias avaliadas.

O comportamento da resistência ao cisalhamento pode ser visto na Figura 35.

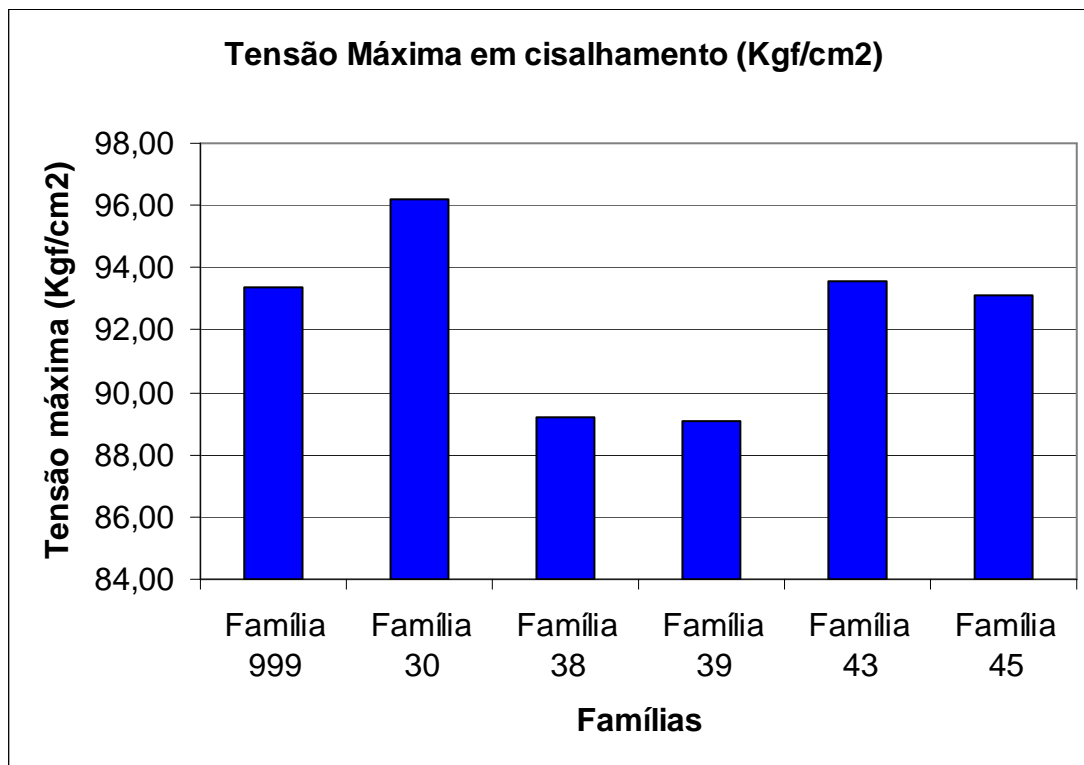


Figura 35 - Comparação da tensão máxima que os corpos de prova resistiram em teste de cisalhamento nas famílias avaliadas

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Porcentagem de lenho tardio

- ✓ O *Pinus taeda* tem o melhor comportamento com relação à porcentagem de LT, com aumento da porcentagem de lenho tardio já a partir do sexto anel de crescimento.
- ✓ Para o *Pinus taeda*, a partir do oitavo ano de idade começa haver diminuição da porcentagem de lenho inicial e aumento da porcentagem de lenho tardio, em algumas árvores começando já no sexto ano.
- ✓ Para a espécie de *Pinus greggii*, a porcentagem de lenho tardio e inicial se manteve do primeiro ao último anel de crescimento, não havendo variação perceptível de aumento da porcentagem de lenho tardio com o aumento da idade das árvores
- ✓ Em diâmetro, o *Pinus taeda* possui menor porcentagem de lenho inicial e maior porcentagem de lenho tardio em relação ao *Pinus greggii*.

- ✓ Para a porcentagem de lenho tardio e inicial a Família de *Pinus greggii* que mais se aproxima do *Pinus taeda* é a de número 30 e a que tem porcentagem mais elevadas de lenho inicial, se distanciando do *Pinus taeda* é a família 38.
- ✓ Em altura, o comportamento da porcentagem de lenho tardio para um mesmo anel de crescimento, em diferentes alturas, é similar, não havendo diferença significativa entre as espécies e famílias avaliadas.

## 5.2 Propriedades Físicas

- ✓ A família com melhores propriedades físicas é a 45, superiores as da testemunha, seguida das famílias 43 e 999. A família com características menos desejadas é a 39.
- ✓ A massa específica da madeira tanto do *Pinus taeda* como do *P. greggii* diminui da base para o topo das árvores, mesmo as árvores ainda sendo jovens, possuindo somente lenho juvenil. A diferença de massa específica da base para o topo é significativa, mas não existe diferença significativa entre o *Pinus taeda* e o *P. greggii* para a massa específica básica.
- ✓ Para a massa aparente básica as seis famílias podem ser agrupadas em dois conjuntos, sendo que as famílias 999, 43 e 45 forma um grupo homogêneo (valores mais altos) e as famílias 30, 38 e 39 outro grupo, com menor homogeneidade.
- ✓ Para a massa específica aparente a 12% de umidade as famílias 43, 45 e 999 são homogêneas e apresentam os maiores valores de massa específica e com relação a posição na árvore a massa específica é semelhante até 33% da altura comercial, decrescendo a partir daí de forma significativa.
- ✓ Os valores encontrados no trabalho tanto para o *Pinus taeda* como para o *P. greggii* foram inferiores aos mencionados na literatura.
- ✓ As contrações radiais, tangenciais e volumétricas diminuem com a diminuição da massa específica. O coeficiente da anisotropia com menores valores e mais homogêneos, ao longo da altura, são das famílias 43, 45 e 38.
- ✓ A contração tangencial da família 43 é a mais alta e das famílias 30 e 39 são as mais baixas. Com relação a posição na altura, a contração é significativamente diferente entre a base e o topo da árvore, sendo que a posição intermediária também varia em relação ao topo e base.
- ✓ A contração radial é maior nas famílias 38, 45 e 999 e as maiores porcentagens de contração volumétrica estão nas famílias 43 e 45, seguidas das 38 e 45 e as mais

baixas nas famílias 39 e 30. Com relação à altura, tanto para contração volumétrica como radial, o comportamento da base da árvore (DAP, 16% e 33% da altura comercial) é diferente do topo (66% e 100% da altura comercial).

- ✓ coeficiente da anisotropia tem a tendência de diminuir da base para o topo, porém com uma leve elevação aos 66% da altura comercial.
- ✓ As melhores famílias, em termos de propriedades físicas são: 45, 43 e 999.

### 5.3 Propriedades mecânicas

- ✓ Para a flexão estática as famílias com melhor desempenho foram as famílias 999 (*Pinus taeda*) e a 30 (*Pinus greggii*) por apresentarem as maiores resistências a flexão estática, tanto na tensão de ruptura como no módulo de elasticidade. Em contrapartida as famílias com piores desempenhos foram as 38 e 43.
- ✓ Para a compressão paralela às fibras, as famílias com melhor desempenho foram as de número 43 e 45 (*Pinus greggii*) e as de pior desempenho foram as famílias de número 39 e 999.
- ✓ A família com melhor propriedade de dureza são as de número 999 (*Pinus taeda*) e as 30 e 45, sendo a pior qualidade a família 39.
- ✓ A família com maior resistência ao cisalhamento são as de número 30 e 999, respectivamente, sendo a de menor resistência as famílias 38 e 39, sendo que estatisticamente não houve diferença significativa entre todas as famílias avaliadas.
- ✓ O melhor desempenho para as propriedades mecânicas foi das famílias 999, 30, 45 e 43 e o pior foi das famílias 38 e 39.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de estruturas de Madeira – NBR 7190. Rio de Janeiro: ABNT. 1997.

BARRICHELO, L.E.G. Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira em *Pinus caribaea* Mor. Var. *hondurensis* Berr. E Golf. Para a produção de celulose e papel. Piracicaba, ESALQ/USP, 1979, 167p. ( Tese de Livre Docência).

BENDTSEN, B.A. & SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. *Wood and Fibre Science*. 1986, ve 18 (1) : 21-38p.

BRAND, M.A.; SIMIONI, F.J.; KLOCK, U.; VICARI, N.P.; CAMARGO, H.B. DE; ROSAR, R.R. Determinação de porcentagem de lenho tardio e massa específica da madeira de espécies do gênero *Pinus* plantadas na região do planalto sul catarinense. **Revista de Divulgação científica e cultural da UNIPLAC**. V. 4, n.1 e 2.-2001, Edição Especial. Lages: UNIPLAC. 2002.

BURGER, M.L.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CANCORE. **Annual report – 1998**. Raleigh: North Carolina State University, 1998.

DHAWAN, R.; KARIRA, B.G.; SHARMA, Y.K. Dissolving grade pulps from tropical pines. **Indian Forester**, Dehra Dun – India, 1990, 116(8):650-654 p.

DONAHUE, J.K.; LOPEZ UPTON, J. Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* in native forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam – Holanda, n. 82: 145 – 157, 1996.

DONAHUE, J.K.; PERRY, J.P.; SQUILLACE, A.E.; LIU, S. Geografic variation in stemxylem terpene chemistry in native populations of *Pinus greggii* Engelm. **Forest Genetics**, Zvolen –slovakia, 2 (4):217-225 p., 1995.

KELLISON, R. C. **Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification**. V.7,n.1, pag.279-291, jan./dez.2000 17º IUFRO World Congress. Japão, pag. 77-87, 1981.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo. IPT. 1989. 418 p.

KLOCK, U. Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schied e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf. 1989. Curitiba. Mestrando. 143 p. Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.

KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. Growndise der Forestbenutzung. Varlang Paul Parey, Hamburg and Berlin, 1966. 584p.

KOCH, P. Utilization of the southern pines. : USDA. Forest Service, 1972. 2v. (Agric. Handbook, 420).

KOLLMANN, F. F. P. Techmologie des holzes und der holzwerka - toffe. Band I. Springer Verlag. 1951. 1050p.

-----, & COTÊ JR. , W.A Principles of wood science and technology. Berlin, Springer, 1968. 2v.

MALAN, F.S. The wood properties and quality of *Pinus pringlei* Shaw and *P. greggii* Engelm. Compared with that of *P. patula* and *Pinus elliottii* grows in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, 1994, n. 171: 43-52 p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia da Gimnospermas**. UFSM, 1995.

MIROV, N.T. **The genus *Pinus***. New York: the Ronald Press Company, 1967. 602 p.

MUÑIZ, G.I.B. Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. Curitiba, 1993. 235f. Tese (Doutorado)- Engenharia Florestal- UFPR.

MURILLO, O. Natural variation in wood specific gravity of *Pinus greggii*, *P. leiophylla* and *P. pringlei*. **CANCORE – Bulletin of Tropical Forestry**, Raleigh, n. 5, 1988.

PERRY, J.R. **The pines of Mexico and Central America**. Portland: Tmber Press, 1991.

POYNTON, R.J. **Tree planting in Southern Africa**. Vol. 1 Teh Pines. Republic of South Africa. 1977. S.A. Forestry Research institute. Department od Forestry, 575 p.

SHARMA, Y.K.; BHANDARI, K.S.; DHOUNDIYAL, S.N. Note on pilot plant trials on pulp and paper making characteristics os *Pinus greggii* and *Pinus pseudostrobus*. **Indian Forester**, Dehra Dun – india, 1987, 113 (7): 479-483 p.