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

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO VERGAMENTO DAS MADEIRAS DE *Luehea divaricata*, *Carya illinoinensis* E *Platanus x acerifolia* COMO SUBSÍDIOS PARA O MANEJO FLORESTAL.

TESE DE DOUTORADO

Darci Alberto Gatto

Santa Maria, RS, Brasil

2006

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO VERGAMENTO DAS MADEIRAS DE *Luehea divaricata, Carya illinoinensis* E *Platanus x acerifolia* COMO SUBSÍDIOS PARA O MANEJO FLORESTAL.

por

Darci Alberto Gatto

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Área de Concentração em Manejo Florestal (Qualidade da madeira), da Universidade Federal de Santa Maria (RS), como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS, Brasil.

2006

Gatto, Darci Alberto, 1970-

G

263c

Características tecnológicas do vergamento das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoinensis* e *Platanus x acerifolia* como subsídios para o manejo florestal. / por Darci Alberto Gatto ; orientador Clovis Roberto Haselein. – Santa Maria, 2006.

109 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2006.

1. Engenharia florestal 2. Açoita-cavalo 3. Nogueira-pecã 4. Plátano 5. Vergamento 6. Floresta não-manejada 7. Tecnologia da madeira I. Haselein, Clovis Roberto, orient. II. Título

CDU: 674.047.3

Ficha catalográfica elaborada por

Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160

Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

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

A Comissão Examinadora, Abaixo Assinada, Aprova a Tese

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO VERGAMENTO DAS MADEIRAS DE *Luehea divaricata*, *Carya illinoinensis* E *Platanus x acerifolia* COMO SUBSÍDIOS PARA O MANEJO FLORESTAL.

elaborada por

Darci Alberto Gatto

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Clovis Roberto Haselein, Dr.
(Presidente/Orientador)

Jorge Orlando Cuellar Noguera, Dr.
(1º examinador)

Djalma Dias da Silveira, Dr.
(2º examinador)

Miguel Antão Durlo, Dr.
(3º examinador)

Solon Jonas Longhi, Dr.
(4º examinador)

Santa Maria, 27 de abril de 2006.

AGRADECIMENTOS

A Io e Dio... !

Aos amigos Fabrício Sutili, Luciano Denardi, Fabiano Fortes, Ediane Bulegon, e ao TG. Leandro Calegari pela ajuda.

Aos meus professores Clovis Roberto Haselein, Elio José Santini e José Newton Cardoso Marchiori, pela orientação.

Aos professores Miguel Antão Durlo, Celso Edmundo B. Foelkel e Jackson Roberto Eleotério pelas sugestões e amizade.

À Carlos Matias e Fátima que me receberam como filho nos momentos de dificuldades.

Aos funcionários da UFSM: Jorge, Nelson, Darci, Celso, Juarez, que facilitaram este e outros trabalhos que sem sua ajuda, com certeza, seria muito mais difícil.

Aos colegas da SUSEPE que compreenderam minha ausência do trabalho.

A Luisa Vian, Engenheira Florestal da THONART, pela colaboração.

A empresa Divinut de Cachoeira do Sul pela doação de parte do material (madeira de nogueira-pecã) para ser utilizada na pesquisa.

Aos meus colegas do Laboratório de Produtos Florestais, que ouviram com paciência minhas reclamações, as de sempre...

A Tutti e per Tutto, Grazzie!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO VERGAMENTO DAS MADEIRAS DE *Luehea divaricata*, *Carya illinoinensis* E *Platanus x acerifolia* COMO SUBSÍDIOS PARA O MANEJO FLORESTAL.

AUTOR: DARCI ALBERTO GATTO
ORIENTADOR: CLOVIS ROBERTO HASELEIN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de Abril de 2006.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de investigar as características do vergamento da madeira de plátano (*Platanus* x *acerifolia*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) e nogueira-pecã (*Carya illinoinensis*) procedentes de florestas não-manejadas para este fim das regiões da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. Foram abatidas cinco árvores adultas representativas de cada espécie e Região de estudo, das quais foram determinadas as características da forma do tronco como conicidade e índice de circularidade. No estudo definiu-se o ano de segregação dos lenhos juvenil/adulto por meio da variação radial de características anatômicas e de massa específica básica. As madeiras das espécies testadas foram vergadas em raios de 16 e 21 cm, com teor de umidade inicial de aproximadamente 14%, após cozimento em água fervente por 35 minutos. Para a qualificação dos defeitos de vergamento, foi seguida metodologia descrita por Vorreiter (1958). Os principais resultados indicam que o ano de segregação mais provável é o definido pela variação radial do comprimento da fibra que foi, respectivamente, 21, 16 e 14 anos para açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano. Quanto à qualidade do vergamento, os corpos-de-prova do lenho juvenil vergaram surpreendentemente melhor que os corpos-de-prova do lenho adulto para os raios e espécies testadas. Dessa forma, não há grandes necessidades de um manejo florestal que diminua a quantidade de lenho juvenil. No entanto, o desdobro das toras deve ser feito respeitando a direção das fibras, assim evitando o principal defeito do vergamento observado (estilhaço). Na madeira de nogueira-pecã, foram observados os melhores resultados do vergamento independentemente do raio. Aparentemente, a porosidade em anel, característica da espécie, contribuiu para o resultado. Já as madeiras de açoita-cavalo e plátano, com porosidade difusa e com grande proporção de parênquima, apresentaram uma grande quantidade de peças defeituosas.

Palavras-chaves: vergamento, açoita-cavalo, plátano, nogueira-pecã, qualidade da madeira, tecnologia da madeira

ABSTRACT

Master's Thesis
Master's Degree Program in Forest Engineering
Federal University of Santa Maria

TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BENDING OF THE WOOD OF *Luehea divaricata, Carya illinoinensis* AND *Platanus x acerifolia* AS SUBSIDIES FOR THE FOREST HANDLING.

Author: Darci Alberto Gatto
Advisor: Clovis Roberto Haselein

Date and place of defence: Santa Maria, April 27 th of 2006.

The present work was developed with the objective of investigating the characteristics of bending of the wood of Sycamore (*Platanus x acerifolia*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), and pecan (*Carya illinoinensis*) coming from forests non managed for this end from the area of the Depressão Central and Encosta Superior do Nordeste of the state Rio Grande do Sul/Brasil. There were cut down five representative trees of each species and study area. There were determined the characteristics such as log as taper and idiosyncrasy. In the study there was defined the year of segregation of juvenile/adult wood by means of the radial variation of anatomical characteristics and basic density. The wood was bent in rays of 16 and 21 cm, with wood initial moisture of 14%, and after water boiling for 35 minutes. For the qualification of the defects of the bending wood, the methodology described by Vorreiter (1958) was followed. The most probable year of segregation is the defined by the radial variation of fiber length that was determined, respectively as, 21, 16 and 14 years for açoita-cavalo, pecan and sycamore. With relationship to the quality of the wood bending, the juvenile wood was surprisingly better than the adult wood for the rays and tested species. In this resard, there are not great needs of a forest handling that decreases the amount of juvenile wood. Nevertheless, trunk breakdown should be made respecting the direction of the fibers; thus, avoiding the main defect of the wood bending (splintering by tension). The best results of the bending wood were observed for the wood of pecan. Possibly, the ring porous wood, characteristic of the species, contributed in the result. Meanwhile, açoita-cavalo and sycamore, wood with diffuse porosity and of high parenchyma proportion, presented a great amount of defective pieces.

Key words; bending wood, açoita-cavalo, pecan, sycamore, wood quality, wood technology

RIASSUNTO

Tesi di Dottorato
Programma di poi graduazione in Ingegneria di Foresta
Università Federale di Santa Maria

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE DEL LEGNO PIEGHEVOLE DI BOSCO DI *Luehea divaricata, Carya illinoinensis* E *Platanus x acerifolia* COME SUSSIDI PER IL MANEGGIO FORESTALE.

AUTORE: DARCI ALBERTO GATTO
CONSULENTE: PROF. DOTT. CLOVIS ROBERTO HASELEIN

Data e luogo di difesa: Santa Maria, 27 Abrile 2006.

Il lavoro presente è stato condotto con l'obiettivo di investigare le caratteristiche di legno pieghevole dell'albero di platano (*Platanus x acerifolia*), il tiglia brasiliana (*Luehea divaricata*), e noce pecan (*Carya illinoinensis*) venendo dall'area della Depressione Centrale e Pendice Superiore del Nord-est del Rio Grande do Sul/Brasile. Sono stati tagliati cinque alberi rappresentativi di ogni specie e area di studio. Nello studio si ha definito l'anno di segregazione dei legni giovanile/adulto attraverso la variazione radiale delle caratteristiche anatomiche e della massa specifica di base. Anche le caratteristiche di forma di tronco come conicità e idiosincrasia, il potenziale del legno pieghevole. I legni della specie esaminata, furono curvati nei raggi di 16 e 21 cm, con grado di umidità iniziale di 14% e dopo l'ebollizione nell'acqua per 35 minuti. Già per la qualificazione del legno pieghevole fu utilizzata la metodologia descritta da Vorreiter (1958). Così, i risultati principali ottenuti forano i seguenti: non c'è differenza espressiva, in rapporto alla metodologia (variazione radiale delle caratteristiche anatomiche e della massa specifica di base) e aree dello studio per l'anno di segregazione di tronco della specie studiata. L'anno di segregazione più probabile è quella definito della variazione radiale della lunghezza della fibra che fu, rispettivamente, 21, 16 e 14 anni per la specie tiglia brasiliana, noce pecan e platano. Con relazione alla qualità del legno pieghevole loro curvarono sorprendentemente te meglio fra il legno adulto e giovanile nei raggi e specie esaminate. In questo modo non c'è un grande bisogno di maneggio forestale che faccia decrescere la quantità di legno giovanile. Comunque, il maneggio devono farebbe decrescere al massimo la conicità dei tronchi e produrrebbe un guadagno dell'asta. Nello stesso modo, il piegamento delle stesse dovrà essere fatto riguardando la direzione delle fibre, così evitando il difetto principale del legno pieghevole (tensione di scheggia). Nel legno di noce pecan i migliori risultati del legno pieghevole furono osservati nei raggi di 16 e 21 cm. Apparentemente la porosità in anela, caratteristica della specie, partecipa nel risultato. Invece, il legno della tiglia brasiliana e platano con porosità diffusa e di grande proporzioni di parenchima hanno presentato una gran quantità di pezzi difettosi.

Parola-chiave: legno pieghevole, tiglia brasiliana, noce pecan, qualità del legno, tecnologia del legno.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9

1.1 Objetivos 10

1.1.1 Objetivo Geral 10

1.1.2 Objetivos Específicos 10

2 REVISÃO DE LITERATURA 12

2.1 Histórico do vergamento 12

2.2 Características do processo de vergamento 12

2.3 Características qualitativas do vergamento 15

2.4 Vergamento da madeira 17

2.4.1 Espécie 17

2.4.2 Qualidade da madeira 21

2.4.3 Processo de vergamento 29

3 MATERIAIS E MÉTODOS 34

3.1 Caracterização da área de estudo 34

3.2 Coleta do material 35

3.3 Determinação dos defeitos na forma do tronco 36

3.4 Determinação da massa específica 37

3.5 Segregação dos lenhos juvenil e adulto 38

3.5.1 Análise de caracteres anatômicos 38

3.5.2 Variação da massa específica básica 39

3.6 Processo de vergamento laboratorial 40

3.7 Processo de vergamento na indústria 42

3.8 Caracterização dos corpos-de-prova 42

3.9 Análise do vergamento 44

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 47

4.1 Caracterização do material das árvores em estudo 47

4.2 Caracterização dos troncos 49

4.3 Massa específica básica 51

4.3.1 Massa específica básica média ponderada pelo volume 51

4.3.2 Variação da massa específica básica com altura comercial 53
4.4 Segregação do lenho juvenil/adulto 56
4.4.1 Características anatômicas 56
4.4.2 Variação da massa específica básica 64
4.4.3 Avaliação dos métodos de segregação dos lenhos juvenil-adulto e comparação entre as Regiões. 76
4.4.4 Proporção de lenho juvenil 79
4.5 Processo de vergamento laboratorial 82
4.5.1 Confecção da máquina de vergamento 82
4.5.2 Características dos corpos-de-prova 83
4.5.3 Análise do vergamento 86
4.6 Sugestões para manejo florestal das espécies 95
4.7 Processo de vergamento observado na indústria 95
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 101
5.1 Conclusões 101
5.2 Recomendações 102
6 BIBLIOGRAFIA 103

1 INTRODUÇÃO

A técnica de flexionamento de peças de madeira remonta à antigüidade. Possivelmente começou com a confecção de cestos de varas e posteriormente com a construção de barcos. Entretanto, como a madeira é fortemente elástica, as peças flexionadas mantinham a forma a elas conferida apenas enquanto eram obrigadas a isso por forças externas. Além disso, era impossível, na antigüidade, flexionar peças grossas e mesmo finas a pequenos raios. Dessa forma, madeiras naturalmente tortuosas eram especialmente procuradas por torneadores, escultores, fabricantes de carrocerias e, sobretudo, por fabricantes de pequenas embarcações. Na Europa, segundo Grosser (1980), esse tipo de peças, especialmente de carvalho (*Quercus* spp.), foi muito procurado durante milênios para a construção naval.

Um processo substancial, também de conhecimento muito antigo, foi tornar a madeira mais flexível pelo tratamento por fogo. A madeira, quando ainda úmida, era tornada mais flexível pela sua colocação sobre o fogo, tendo o operador muito cuidado em mantê-la sempre em movimento para evitar desuniformidade no aquecimento, ou mesmo para evitar que a peça viesse a queimar, o que não era muito raro. No Brasil, os imigrantes italianos utilizaram esse procedimento para vergar madeira utilizada na produção de barris, em que era envelhecido e acondicionado o vinho.

Com o advento de máquinas para serrar, houve uma tendência de se abandonar a técnica de flexionamento, construindo-se, de preferência, peças curvas por meio de serras. Se, por um lado, isso pode garantir peças bem formadas, por outro, essa técnica provocou uma drástica redução da resistência e uma grande formação de resíduos ocasionando grande perda de madeira.

Apesar de bastante antiga e utilizada por muito tempo na Europa, a técnica de vergamento é pouca reconhecida na América (do Sul-Central-Norte). Na América do Sul, apenas uma empresa a utiliza em escala industrial. Localizada no Rio Grande do Sul, a empresa Thonart utilizou, para a confecção de móveis, por muitas décadas, a madeira de açoita-cavalo *(Luehea divaricata* Mart. Et Zucc*),* vindo a testar outras espécies em conseqüência da escassez desta.

Na atualidade, a empresa emprega também, como matéria-prima para móveis vergados, a madeira de plátano (*Platanus x acerifolia* (Ait.) Willd.). No entanto, essa empresa não possui um controle do processo de vergamento da nova espécie e se preocupa ainda em encontrar outras madeiras para o vergamento, carecendo de novas pesquisas que venham a

indicá-las. O plátano, que chegou com a colonização italiana, adaptou-se bem às condições climáticas de nosso Estado, em especial nas regiões Serrana e Planalto. No entanto é cultivada ainda em pequenos povoamentos.

Por outro lado, tem-se no Rio Grande do Sul o maior pomar da América Latina de nogueira-pecã, sendo *Carya illinoinensis* a principal espécie plantada. Até o momento, as árvores se destinam exclusivamente para a produção de nozes comestíveis e, no final, com a perda de produtividade, são derrubadas e sua madeira queimada.

Apesar da pouca literatura encontrada no Brasil sobre a madeira de nogueira-pecã, acredita-se que, por suas características macroscópicas e pela aceitação da madeira em seu país de origem, poderia ter uma utilização mais nobre que seu simples uso para energia. Por exemplo, madeiras de espécies similares são importadas por algumas empresas brasileiras para a confecção de produtos especiais. Um desses possíveis usos é para a fabricação de móveis vergados. Se realmente for possível tal uso, pode-se antever que as receitas obtidas pelos agricultores, que cultivam essa espécie, serão maiores.

É evidente, portanto, que há falta de definição tecnológica das características de vergamento das três espécies *(Luehea divaricata* Mart. Et Zucc*, Carya illinoinensis* (Wangenh) K. Koche*, Platanus x acerifolia* (Ait.) Willd.*)* o que impede indicações de práticas de manejo florestal com vistas à produção industrial que, com esse trabalho, se busca solucionar.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar as características de vergamento das madeiras de *Platanus x acerifolia* (Ait.) Willd. (plátano), *Luehea divaricata* Mart. Et Zucc (açoita-cavalo), e *Carya illinoinensis* (Wangenh) K. Koch (nogueira-pecã) como subsídios para o manejo florestal.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Observar e descrever o processo de vergamento comumente utilizados na indústria para produção de móveis.
2. Delimitar a idade de maturação da madeira das espécies em estudo, por meio da segregação dos lenhos juvenil e adulto.

3. Avaliar o comportamento da madeira durante o vergamento em razão da espécie, da maturidade da madeira (lenho juvenil e adulto) e da Região de coleta do material, da velocidade de crescimento e do raio de vergamento.
4. Ordenar as espécies e o grau de maturidade do lenho mais adequados para o processo de vergamento e, com base nos resultados, sugerir práticas de manejo florestal com vistas à produção industrial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico do vergamento

Em 1830, na cidade de Boppard/Áustria, Michael Thonet desenvolveu a técnica de flexionar (vergar) madeira maciça. A partir daí, revolucionou a arte de trabalhar com madeira, desenvolvendo uma linha de móveis leve e elegante, radicalmente diferente de tudo o que existia: os móveis vergados. O sucesso foi tão grande que rapidamente as criações de Thonet podiam ser encontradas nas residências dos aristocratas, restaurantes, teatros, hotéis e nos grandes e finos cafés vienenses. Até hoje os móveis de madeira maciça vergada também são conhecidos como móveis austríacos ou móveis vienenses (THONART, 2002).

Além de conquistarem a Europa e outros continentes, os móveis vergados de Thonet conquistaram João Gerdau que, apaixonado pelo produto, trouxe a arte de Thonet para o Brasil. Em 1908, teve início a primeira fábrica de móveis vergados de madeira maciça da América.

2.2 Características do processo de vergamento

A madeira seca ao ar, sem um tratamento prévio, pode ser flexionada somente dentro de determinados limites, variáveis de espécie para espécie. Isso pode ser atribuído à pequena dilatação de ruptura da madeira quando sujeita a esforços de tração. Com o flexionamento, processa-se um alongamento do lado convexo ou de tração (quando este não estiver protegido devidamente), ao passo que, do lado côncavo ou de compressão pode-se observar um encurtamento. Nas margens, superior e inferior das peças em flexionamento, as deformações são máximas e vão diminuindo em direção ao centro, no qual existe uma região que não sofre nenhuma tensão e, portanto, nenhuma deformação, denominada de linha neutra (BODIG e JAYNE, 1982). Ao se flexionar uma peça não-tratada previamente, a linha neutra fica levemente deslocada do centro em direção do lado de tração, pois a madeira é mais resistente a esse tipo de solicitação. Como as deformações de dilatação admissíveis pela madeira até a ruptura são bem inferiores que as deformações admissíveis na contração, para uma mesma tensão, a ruptura se dá primeiramente no lado de tração (KOLLMANN e CÔTÊ, 1968).

Com a plasticização da madeira pelo cozimento em água fervente, vapor ou outro processo, ela se torna mais flexível, isso é, sua capacidade de alongamento (no lado de tração) e de contração (no lado de compressão) são aumentados consideravelmente. O aumento da

capacidade de contração é superior ao aumento da capacidade de dilatação, de forma que a linha neutra se desloca ainda mais para o lado de tração. Quanto menor o raio de vergamento (r) em relação à espessura da peça (s), tanto maiores são as dilatações e contrações nas regiões de tração e compressão respectivamente. Quando essas deformações ultrapassam as deformações admissíveis (e_z) para as diversas espécies, a peça se rompe.

As deformações admissíveis (e_z), são obtidas por experimentação, vergando-se peças de espessura fixa a raios de vergamento cada vez menores. A deformação admissível é encontrada quando, no máximo, 5% das peças se rompem.

Kollmann (1951) propôs para um flexionamento sem problemas a seguinte condição:

$$\left(\frac{s}{2r}\right) \bullet 100 \leq e_z$$

Em que:

e_z = dilatação de ruptura

s = espessura da peça

r = raio de curvatura, medido até a linha neutra.

Na Figura 1 pode-se observar o esquema de medição do raio de curvatura ou vergamento (**r**), medido do centro do pivô até a metade da espessura da peça de madeira (corpo-de-prova) conhecida como linha neutra.

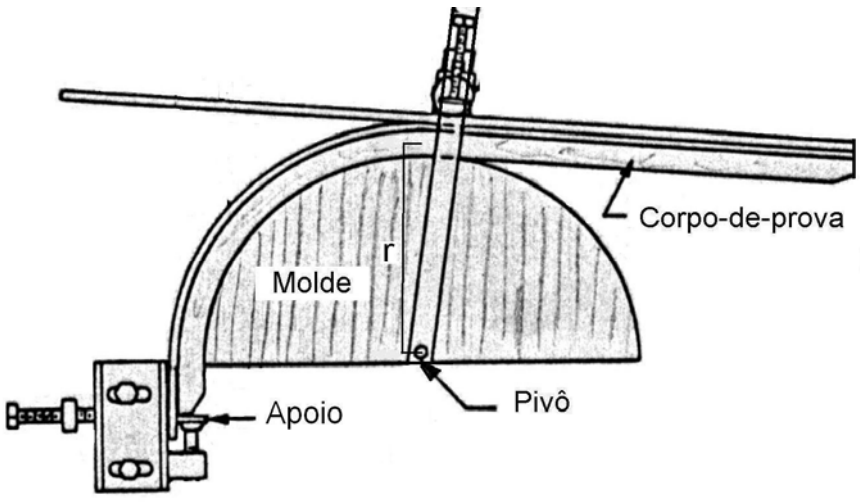


Figura 1 - Esquema demonstrativo de medição do raio de curvatura ou vergamento (r).

Para madeira de *Fagus* sp., por exemplo, quando não-tratada e seca ao ar, a deformação de ruptura (e_z) varia de 0,75 a 1,0%, o que resulta numa relação s/r entre 1/67 até 1/50. Depois

da vaporização ou cozimento, a madeira se torna mais plástica e as deformações permitidas aumentam para 2 a 5% resultando numa relação s/r ao redor de 1/33 até 1/25. Isto é, se relação s/r for de 1/33, isto significa que a cada cm de espessura da peça a ser vergada, o raio mínimo para a madeira não se romper será de 33 cm. Se a peça, por exemplo, tiver 2 cm de espessura o raio mínimo de vergamento será de 66 cm.

Vorreiter (1958) estudou para diversas espécies e denominou a deformação de ruptura (e_z) de coeficiente de flexionamento (dado pela relação s/r em porcentagem) admitindo rupturas de no máximo até 5% das peças de madeira. O aumento desse coeficiente indica que a espécie se adapta ao vergamento (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficientes de flexionamento (s/r) e raio mínimo (r mín.) médio para diversas espécies vaporizadas (espessura da peça igual a 2,54 cm; rupturas admitidas até 5% das peças de madeira). Fonte: Vorreiter (1958) modificado.

ESPÉCIES	Com Cinta de Flexão			Sem Cinta de Flexão		
	s/r	s/r[1]	r mín. cm	s/r	s/r[1]	r mín. cm
Picea excelsa	0,033	1/30	76,2	-	-	-
Pinus caribea	0,072	1/14	35,6	0,036	1/28	71,1
Eucalyptus pilularis	0,043	1/23	58,4	0,029	1/34	86,4
Eucalyptus obliqua	0,062	1/16	40,6	0,042	1/24	61,0
Quercus robur	0,500	1/2	5,1	0,077	1/13	33,0
Podocarpus guatemalensis	0,029	1/34	86,4	-	-	-
Fagus sylvatica	0,247	1/4	10,2	0,069	1/14	35,6

1= coeficiente de flexionamento em fração.

Para muitas finalidades, a flexibilidade da madeira, mesmo quando plasticizada em água quente, vapor, produtos químicos etc., não é suficiente, já que para pequenos raios as dilatações de ruptura na face de tração são ultrapassadas e a peça se rompe. Na tentativa de resolver esse problema, o alemão M-Thonet desenvolveu o método que consiste em flexionar-se a madeira, presa em suas extremidades e com o auxílio de uma cinta de flexão, ajustada na face de tração, o que impede as dilatações nesta região. Com isto, como mostra na Figura 2, a linha neutra é transferida mais para o lado convexo, de modo que na peça em flexionamento sejam exercidas, preponderantemente, forças de compressão e as dilatações sejam mínimas. Dessa forma, em razão da maior compressibilidade natural da madeira, ela pode ser flexionada a raios menores sem grandes problemas, já que o coeficiente de flexionamento para as diversas espécies fica aumentado. Uma comparação entre os raios

mínimos conseguidos e o coeficiente de flexionamento com e sem cinta de flexão é fornecida pela Tabela 1 (VORREITER, 1958).

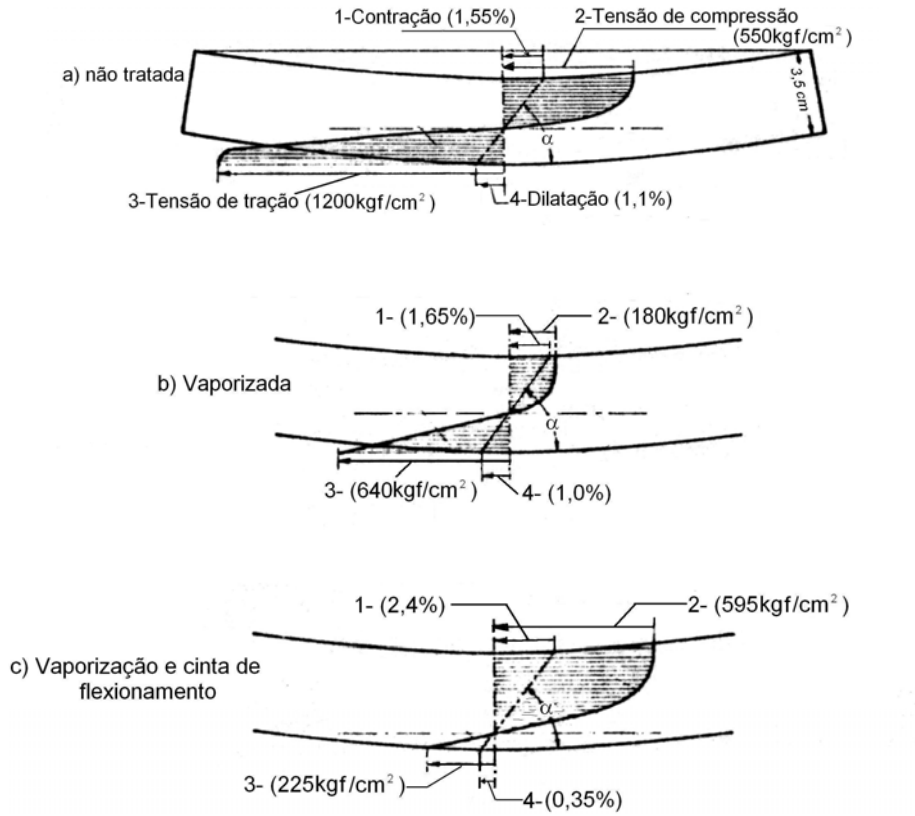


Figura 2 - Distribuição das tensões e deformações no perfil de uma ripa de *Quercus* sp. flexionada sob diferentes condições. Adaptação de Kollmann (1951), Kollmann e Côtê (1968), Vorreiter (1958).

2.3 Características qualitativas do vergamento

Ao ser vergada, na dependência da espécie, tipo de lenho e tratamento sofrido, a madeira pode comportar-se de maneira bastante diferenciada, e diversos defeitos podem surgir.

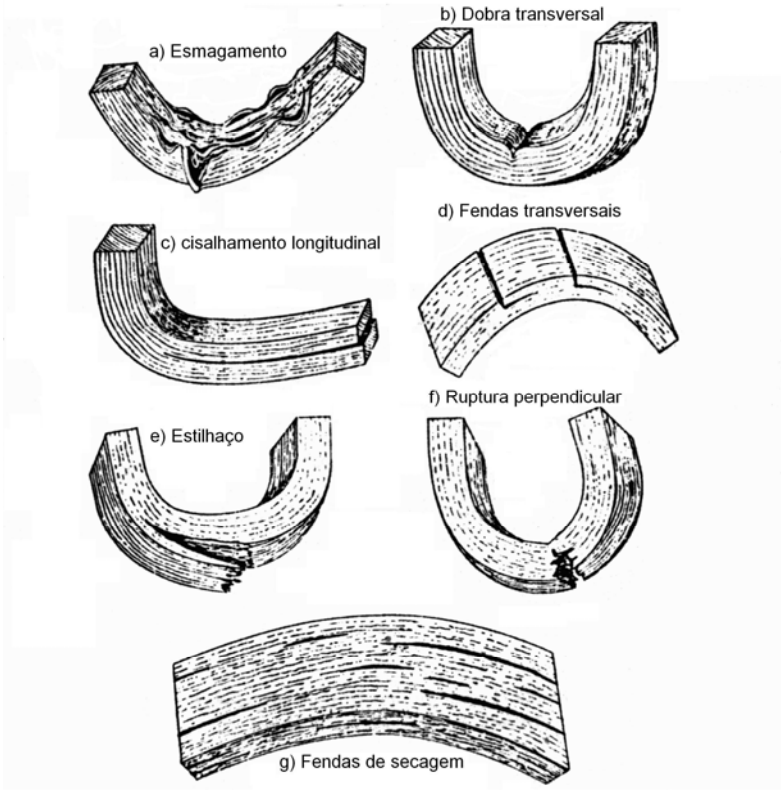


Figura 3: Desenho esquemático dos defeitos ocorrentes durante o vergamento da madeira. Fonte: Vorreiter (1958), modificado.

De acordo com Vorreiter (1958), os defeitos resultantes do vergamento da madeira são:

a) Esmagamento: ocorre no lado côncavo por causa da curvatura exagerada que ultrapassa o coeficiente de flexionamento. Origina-se pela presença de pequenos fendilhamentos superficiais da peça, antes do flexionamento.
b) Dobra transversal: aparece normalmente no lado de compressão e, às vezes, nos flancos. É conseqüência do pré-tratamento em temperaturas muito elevadas, tempo de tratamento muito longo e raio de curvatura pequeno.
c) Cisalhamento longitudinal: aparece nas proximidades da linha neutra. Esse defeito ocorre quando o raio de vergamento é exagerado e quando os apoios dos extremos da peça não estão firmes.
d) Fendas transversais: ocorre no lado de tração, alcançando até 1/3 de profundidade. São ocasionados por causa da pressão insuficiente dos apoios e da cinta de flexão.
e) Estilhaço: surge no lado de tração em conseqüência do posicionamento oblíquo das fibras, da utilização de coeficiente de flexionamento alto ou excesso de velocidade de trabalho. Ocorre após a retirada da cinta de flexão.

f) Ruptura perpendicular: ocorre mais em madeira rígida, mas aparece também em madeiras plásticas quando não-tratadas suficientemente. Raio de curvatura pequeno e velocidade alta de flexionamento também favorecem o aparecimento desse defeito.
g) Fendas de secagem: por causa da secagem inadequada após o flexionamento. Podem ser diminuídas ou até evitadas quando a peça é seca lenta e cuidadosamente, em temperaturas inferiores a 90ºC.

Além disso, Vorreiter (1958) observou, especialmente em madeiras de folhosas de porosidade em anel, que os flancos da peça podem se tornar ásperos por causa do estilhaço de fibras ou grupo delas, quando a madeira foi vaporizada ou cozida exageradamente. Outros defeitos podem ainda aparecer, como mudanças de coloração por causa do contato da madeira com o aço da cinta de flexionamento. Isso pode ser evitado colocando-se entre a cinta de flexão e a madeira uma faixa de papel-alumínio e/ou pelo uso de uma cinta galvanizada com níquel ou cromo.

2.4 Vergamento da madeira

No vergamento de madeiras, deve-se observar a espécie, qualidade da madeira (ausência de defeitos) e fatores dependentes do processo como: pré-tratamento (plasticização), raio de curvatura e metodologia utilizada (teor de umidade da madeira, temperatura e tempo de plasticização).

2.4.1 Espécie

Quando da seleção de madeira para vergar, a primeira consideração a ser observada é a espécie a ser usada. Nesse primeiro passo, deve-se considerar os objetivos estéticos do desenhista, as limitações de curvatura dentro da espécie, e as propriedades de resistência do objeto depois de concluído. A falta de conhecimento das características de vergamento das diferentes espécies pode levar os engenheiros a recomendar madeiras para vergar em raio que estão bem fora dos limites de tensão (tração e compressão) para a qual podem ser sujeitadas tais madeiras.

Para o vergamento, segundo Clark (1965), as madeiras comumente usadas são as espécies européias, carvalho (*Quercus robur*), faia *(Fagus sylvatica*) e *Fraxinus* sp., que podem ser vergadas em raios relativamente pequenos (Tabela 1), depois de tratamento de

plasticização. No entanto, apesar do largo conhecimento das técnicas de vergamento de madeira, sobretudo nos países europeus, o setor moveleiro brasileiro carece de pesquisas e espécies que possam ser indicadas para a produção de móveis vergados, razão pela qual estão sendo testadas neste trabalho a madeira de três espécies: açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano.

a) Açoita-cavalo

O açoita-cavalo (*Luehea divaricata Mart. Et Zucc* Mart.) ocorre de Minas Gerais e Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul na floresta Atlântica, alcançando a Argentina, o Uruguai e o Paraguai (RIZZINI, 1995).

Árvore alta, decidual, de 20 a 25 metros e 50 a 80 cm de diâmetro na altura do peito. O tronco geralmente é tortuoso e nodoso, com base alargada, fuste comumente de 4 a 6 metros de comprimento. Quando no interior de floresta densa, os troncos são quase-retos e bastante altos. A casca é de cor pardo-acizentada, fibrosa, com gosto adstringente um pouco amargo. As ramificações são irregulares, grossas e tortuosas formando copa larga, densa e bastante característica (REITZ *et al.,* 1988).

A madeira de açoita-cavalo é moderadamente pesada, com massa específica a 15% de umidade de 0,64 g/cm³; de cor clara, bege-clara ou bege-levemente-acizentada, uniforme, às vezes, com tonalidade rósea; superfície sem brilho, lisa ao tato; grã-direita; textura média; sem cheiro nem gosto distintos; trabalhabilidade boa e de acabamento delicado (REITZ *et al*., 1988; LORENZI, 1998). Segundo Mainieri e Chimelo (1989), apresenta módulo de ruptura e módulo de elasticidade médios (965 e 85100 kgf/cm², respectivamente), contração radial baixa (3,5%), tangencial e volumétrica médias (8,3 e 12,4%, respectivamente).

Para Rizzini (1995) e Reitz *et al*. (1988), a madeira de açoita-cavalo, por ser moderadamente pesada, de boa aparência, com retratibilidade e resistência mecânica variando entre média e baixa, é indicada para confecção de estrutura de móveis (para o que é muito procurada), para caixas, embalagens, artefatos de madeira, saltos para calçados e peças torneadas. Na construção civil, é recomendada para ripas, molduras, rodapés, etc. Por causa da sua boa trabalhabilidade, a madeira tem sido aplicada na fabricação de coronhas de armas, sendo própria para a confecção de peças curvadas, especialmente cadeiras de balanço tipo austríaco. Por ser de baixa durabilidade natural e de boa permeabilidade ao tratamento preservativo, a madeira de açoita-cavalo não deve ser aplicada, mesmo após tratamento preservativo, em condições excessivamente favoráveis à deterioração biológica.

A madeira de açoita-cavalo apresenta um parênquima axial pouco contrastado, visível sob lente; apotraqueal difuso, abundante, com tendências para formar pequenos trechos de linhas irregulares, interligando-se; escassamente paratraqueal. Os vasos, pouco visíveis a olho nu, distribuídos irregularmente; solitários e múltiplos de 2 a 3, menos freqüentes de 4 a 5; numerosos, de 10 a 20 por mm^2; médios em maioria, 90 a 150 μm de diâmetro tangencial; pontuações intervasculares em disposição alterna, abertura inclusa, numerosa e pequenas, 4 a 5 μm de diâmetro; linhas vasculares numerosas e pouco notadas a olho nu, vazias; raios no topo, numerosos, sendo os mais largos pouco notados a olho nu e os muito finos, intercalados entre aqueles, são visíveis sob lentes; na face tangencial, pouco destacados a olho nu; na face radial, são poucos realçados; fracamente heterocelulares, compostos de células horizontais e algumas células eretas marginais; muito numerosas, 10 a 14 raios por mm; multisseriados, freqüentemente de 3 a 7 células de largura; unisseriados presentes, de células horizontais e eretas em menor número, estratificados; pontações radiovasculares do mesmo tipo das intervasculares. Apresenta estratificação distinta, completa, porém, com os raios multisseriados, grandes abrangendo mais de um extrato; as fibras de seção poligonal ou arredondada, de paredes delgadas, lúmen distinto; pontuações simples e numerosas; camadas de crescimento pouco numerosas (MAINIERI e CHIMELO, 1989).

Para Marchiori (1997), apesar da variação anatômica observada na família das Tiliaceae, que inclui o açoita-cavalo, as madeiras dessa família apresentam placas de perfuração simples, pontoações intervasculares diminutas a moderadamente grandes, elementos vasculares de comprimento médio a moderadamente curtos, parênquima predominantemente apotraqueal, fibras com pontuações simples e raios de dois tamanhos distintos, por vezes, estratificados. Já os principais aspectos anatômicos da madeira de *Luehea divaricata* Mart. Et Zucc são: poros em múltiplos radiais e racemiformes, em seção transversal; raios heterogêneos, em seção longitudinal radial, contendo abundantes cristais; raios estratificados, em seção longitudinal tangencial.

b) Nogueira-pecã

A nogueira-pecã (*Carya illinoinensis* (Wangenh) K. Koch) é bastante plantada (em torno de 200 ha/ano) no estado do Rio Grande do Sul com finalidades de produção de nozes comestíveis. No entanto, quando as árvores são abatidas no final de seu ciclo de produção, a madeira obtida ainda não tem um uso racional e carece de estudos nesse sentido.

A nogueira-pecã é uma árvore de grande porte e tronco retilíneo, atingindo até 50 m de altura e diâmetro de até 150 cm. De acordo com Divinut (2005), tem-se, no Rio Grande do

Sul, mais de 1.200 ha plantados para a produção de nozes comestíveis; destes, em torno da metade estão plantados no município de Cachoeira do Sul, e a outra metade distribuídas no restante do Estado. Na atualidade são realizados plantios que variam de 1 a 10 ha, com espaçamentos 7 x 7, 8 x 8 e 10 x 10 m, número de mudas entre 100 a 204 por hectare. A produtividade média é de 100 kg de nozes por árvore, podendo chegar a 500 kg aos 60 anos. O ciclo de produção pode chegar a 100 anos; no entanto, são realizados desbastes (para aumentar a produção de nozes) em torno dos 18 anos ou ± 25 cm de diâmetro na altura do peito (DAP).

A madeira da família *Juglandaceae* apresenta placas de perfuração simples, pontoações intervasculares moderadamente grandes e alternas, raios desde heterogêneos até quase homogêneos e fibras de comprimento médio, provindas de pontoações areoladas. São também comuns, na família, a porosidade em anel, elementos vasculares de comprimento médio e parênquima apotraqueal (MARCHIORI, 1997). Segundo o autor, a planta é originária do vale do Mississipi, desde os estados de Iowa, Illinois e Indiana, até o Texas e Luisiana, produz sementes (nozes) saborosas, muito utilizadas em confeitaria, além de madeira valiosa para piso e mobiliário. A madeira do gênero *Carya* apresenta coloração castanho claro, anéis de crescimento demarcados, textura mediana. Os poros são visíveis a olho nu, com porosidade em anel e, às vezes, semicircular, escasso, grandes a pequenos, solitários e múltiplos. Parênquima axial reticulado e não-visível a olho nu. Os raios não são visíveis a olho nu nos sentidos transversal e longitudinal tangencial, visíveis no sentido longitudinal radial. Com lupa, visíveis no sentido transversal, são muito finos e numerosos; no sentido longitudinal tangencial, são visíveis e dispostos irregularmente (TUSET e DURAN, 1970).

De acordo com o department of agriculture (USDA,1999), o alburno é branco ou quase-branco e relativamente largo; o cerne, no entanto, é um pouco mais escuro. A madeira densa de nogueira-pecã é usada para cabo de ferramentas, manivelas de instrumentos e assoalhos. A menos densa é usada para fabricação de pallets. Os troncos de melhor qualidade são fatiados para a fabricação de folheado para mobília e painéis decorativos. Apresenta massa específica básica de 0,60 g/cm^3, módulo de ruptura de 957,86 kgf/cm^2 e módulo de elasticidade de 121261 kgf/cm^2.

c) Plátano

Árvore trazida pela imigração italiana ao Brasil para sustentação dos parreirais, ou como quebra-ventos. Na Europa e América do Norte, é muito utilizada para a arborização de ruas e destaca-se pelo crescimento rápido, resistência à seca e notável rusticidade, suportando

muito bem a poluição urbana. O *Platanus x acerifolia* (Airton) Willd., trata-se de um híbrido ente o *Platanus orientalis* L. e o *Platanus occidentalis* L., pertencente a família das *Platanaceae* obtido provavelmente em Oxford (Inglaterra), no ano de 1670. A facilidade de sua propagação vegetativa por estacas facilitou sua rápida difusão em praticamente todos os países do mundo (MARCHIORI, 1997).

A madeira, constituída de alburno branco-amarelado e cerne rosado, possui figura muito atrativa, resultante da presença de raios largos e conspícuos. Indica-se para o revestimento de móveis finos, marcos de portas, janelas e usos afins. Possui boa estabilidade dimensional e resistência à decomposição, desde que não seja usada em contato com o solo (TINTO, 1979; TUSET e DURAN, 1970).

De acordo com Stumpp (1999), a madeira de Plátano com 10 anos de idade apresenta massa específica (teor de umidade de 12 a 14%) de 0,7 g/cm^3, módulo de elasticidade de 129268 kgf/cm^2 e módulo de ruptura de 1124 kgf/cm^2. Para o autor, esses valores são surpreendentes, sobretudo em se tratando de madeira jovem.

A madeira apresenta poros geralmente solitários e difusos, elementos vasculares de comprimento médio, placas de perfuração simples ou escalariformes, pontoado intervascular oposto, parênquima apotraqueal e fibras de pontoações areoladas. Os raios, homogêneos e com até 15 células de largura, são suficientemente conspícuos para análise dendrológica (MARCHIORI, 1997).

2.4.2 Qualidade da madeira

A qualidade da madeira selecionada, depois da definição da espécie, é fator determinante para a obtenção de peças bem formadas. Dessa maneira, a realização ou não de práticas silviculturais podem influenciar positiva ou negativamente na qualidade da madeira de um povoamento florestal.

a) Práticas silviculturais

Na atualidade, não se tem ainda práticas de manejo com vistas ao vergamento das espécies estudadas. O primeiro passo é escolher algumas espécies nativas e plantadas no Brasil que vergam melhor. Com base nisso, é necessário investigar o tipo de manejo mais adequado para cada uma. No entanto, pode-se sugerir, já de antemão, técnicas de manejo para diminuir a conicidade, a excentricidade e a proporção de nós.

De acordo com Berger (2000), o fator espaçamento (espaço vital) influenciou significativamente a massa específica básica da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. No entanto, Schilling (1996), pesquisando a influência da desrama sobre a qualidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm., não encontrou diferença significativa para a massa específica básica, mas apenas uma tendência de crescimento ao longo da idade.A ocorrência de defeitos, tais como nós, prejudicam as propriedades físicas e mecânicas do produto madeira. Dessa forma, para reduzir o número de nós e melhorar a sua qualidade, deve-se introduzir a desrama natural por meio da utilização de espaçamentos densos (SCHILLING *et al.*, 1998). É aceitável também que a desrama artificial, especialmente em floresta plantada, aumente a qualidade da madeira pela redução de nós. Com isso, diminui-se também a proporção de grã inclinada, que sempre acompanha os nós, contribuindo positivamente no vergamento.

A escolha do material genético, seja ele por sementes e/ou por tecido de boa procedência, parece ser o principal passo para a diminuição da heterogeneidade da madeira. A qualidade da madeira, no entanto, depende muito do fim que se dará a esta. Usos mais nobres, no caso dos móveis vergados, exigem madeiras de boa qualidade, o que não é possível de se conseguir em 100% do fuste e muito menos em 100% das árvores. O que parece mais sensato, sempre que possível, é a produção de madeira de boa qualidade, destinar as primeiras toras para produção de madeira de melhor uso (vergamento, lâminas decorativas) e a sobra da floresta, como desbastes, toras da extremidade da árvore e sobras de serraria, direcionar para fins menos nobres, como, por exemplo, aglomerados, energia, etc. (KELLISON, 1981; BENDTSEN e SENFT, 1986; FOELKEL, 2000).

b) Defeitos na forma do tronco

Para fins industriais, a árvore ideal deveria ter um tronco com secção transversal circular e ser perfeitamente cilíndrico. Entretanto, isso não ocorre na natureza, isto é, as árvores apresentam características como conicidade, índice de circularidade, galhosidade e tortuosidade que, para a maioria dos processos de transformação, são classificadas como defeitos. Para o vergamento, a conicidade pode ser considerada um defeito de importância, pois sua existência implica em grã inclinada que, muitas vezes, suscita defeitos no vergamento, sobretudo estilhaço.

Os defeitos da forma do tronco, que mais interessam ao vergamento, são aqueles que influenciam a inclinação da grã, como galhosidade, conicidade e índice de circularidade.

Galhosidade

Conforme Vidal e Vidal (1995), a galhosidade é o fenômeno pelo qual as plantas produzem ramos ou galhos partindo do eixo caulinar ou radicular. A ramificação é um processo natural e necessário para que as plantas em geral se desenvolvam e cresçam. Porém, o número excessivo, o tamanho dos galhos e seu posicionamento nas partes inferiores das árvores contribuem muito para a depreciação do valor da madeira, por ocasionarem a ocorrência de nós.

O excesso de ramos proporcionará à madeira serrada uma grande quantidade de nós que por sua vez influenciam na inclinação da grã do tecido lenhoso vizinho, prejudicando o vergamento.

Os nós depreciam as peças, sobretudo por causa da presença de grã irregular nas suas proximidades que, no caso de um esforço de compressão paralela às fibras, fará a madeira comportar-se com instabilidade. Essa descontinuidade pode também afetar as peças sujeitas à flexão, além de dificultar a trabalhabilidade destas pelo prejuízo que traz às ferramentas. Durante a secagem, a contração dos tecidos dos nós é diferente da obtida no lenho circundante, originando deformações indesejáveis. Apesar dessas desvantagens, não se deve esquecer do seu valor decorativo (BURGER e RICHTER, 1991).

Conicidade

A conicidade é um defeito natural que ocorre na direção longitudinal do tronco da árvore, caracterizado pela diminuição do diâmetro do tronco da base para a copa da árvore. Ocorre, sobretudo, em árvores isoladas, ou naquelas situadas às margens de povoamentos. A origem desse defeito pode ser atribuída a vários fatores, como: a) características da própria espécie; b) idade da planta (quanto mais velha a árvore, mais cilíndrica é a forma do tronco); c) influências externas (vento, peso da neve) que fazem com que a árvore desenvolva de forma acentuada a base do tronco para melhor resistir a injúrias. De um modo geral, os troncos são classificados como cônicos quando o seu diâmetro diminui em mais de um centímetro por metro de comprimento da base em direção à copa ou 3 cm/m considerando-se a circunferência (GROSSER, 1980; BURGER e RICHTER, 1991).

Peças de madeira proveniente de árvores com acentuada conicidade apresentam grã oblíqua. No aproveitamento e utilização da madeira, a conicidade influi desfavoravelmente no rendimento de corte. Peças serradas, tais como tábuas, pranchas, etc., obtidas de troncos acentuadamente cônicos, apresentam baixa resistência mecânica (especialmente à flexão). Sob

o ponto de vista econômico, o maior prejuízo dá-se na produção de vigas. Em geral, tem-se também grande desperdício de madeira, como costaneiras, aparas, lâminas defeituosas no início do processo de laminação. Quanto ao vergamento, a conicidade produzirá uma série de defeitos por causa da inclinação da grã (GROSSER, 1980).

Índice de circularidade

O índice de circularidade (relação DAP máx./ DAP min) como noção de defeito, relaciona-se, não só com a figura apresentada pela seção transversal de um tronco (oval, elíptica) mas também com o desvio considerável dos anéis de crescimento em relação à forma circular, podendo ou não ocorrer desvios da medula. A excentricidade é quando há desvio da medula, em relação ao centro geométrico, não permanecendo esta centralizada mesmo no sentido longitudinal do tronco (GROSSER, 1980).

Quando os troncos não são circulares, os anéis de crescimento apresentam largura variável, e as zonas de lenho inicial e tardio são pouco diferenciadas. Pode ser provocado pelo vento, ação da gravidade em árvores que crescem obliquamente, forte insolação lateral, crescimento unilateral da copa, que resulta em suprimento deficiente de nutrientes em um dos lados entre outros. (BURGER e RICHTER, 1991).

A conseqüência do alto índice de circularidade, segundo Grosser (1980), é o freqüente aparecimento de fendas circulares (aceboladuras), entre anéis de crescimento, quando acompanhado da excentricidade da medula. O comportamento do lado afetado do tronco é distinto; a diferença na medida de contração conduz à acentuadas deformações, torções e empenamentos das tábuas obtidas da tora portadora desse defeito.

O alto índice de circularidade do tronco de uma árvore pode gerar grandes perdas na forma de costaneiras quando do desdobro das toras e especialmente, na forma de aparas no caso de laminação em tornos, antes que se obtenham peças com formas retas e uniformes.

c) Tipo de lenho

A qualidade da madeira vergada pode ser influenciada pelo tipo de lenho (juvenil/adulto, inicial/tardio), pela massa específica e pela homogeneidade da madeira. Presenças de dois tipos de lenho ou de massa específica diferentes podem produzir tensões de vergamento diferentes, ocasionando defeitos na peça vergada.

Massa específica

A madeira é um material anisotrópico resultado de fatores inerentes ao crescimento da árvore. Entender essa heterogeneidade, buscar formas de homogeneizá-la, tanto quanto possível, é hoje uma das necessidades para o fornecimento de madeira de qualidade para a indústria madeireira, inclusive para o vergamento.

A pesquisa se concentrou em vincular a massa específica como padrão de qualidade, em conseqüência da grande herdabilidade genética e da facilidade de obtenção dos resultados. Em muitos casos, a aceitação de um produto, ou sua rejeição, no mercado pode ser diretamente relacionado aos baixos valores de massa específica. Para alguns produtos, uma alta massa específica da madeira é desejável, para outros, uma baixa massa específica é mais adequada (ZOBEL, 1977; KAGEYAMA *et al*., 1982; SCHILLING, 1996).

De maneira geral, a massa específica básica é influenciada por diversos fatores, entre eles estão a espessura da parede celular, quantidade de vasos, dimensões da fibra, teor de extrativos, origem da semente, condições edafoclimáticas, sistema de implantação e condução da floresta. Varia significativamente em razão da taxa de crescimento, local de origem, espaçamento, idade, procedência, entre gêneros, espécies, entre árvores da mesma espécie, dentro da mesma espécies, dentro da mesma árvore e ainda no sentido base-topo e medula-casca (FERREIRA e KAGEYANA, 1978; TOMAZELLO FILHO, 1985).

O crescimento da massa específica é o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução na massa específica básica. No entanto, os efeitos são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente (PANSHIN e DE ZEEUW, 1970).

A massa específica das diversas espécies produtoras de madeira não é afetada, de maneira uniforme, por alterações na taxa de crescimento. Para as dicotiledôneas lenhosas, (folhosas) espécies que possuem porosidade em anel e semidifusa, o aumento da taxa de crescimento, dentro de certos limites, ocasiona um aumento na massa específica da madeira. Isso ocorre porque a madeira produzida durante o crescimento lento possui uma maior proporção de poros no início da estação de crescimento do que a madeira produzida durante o crescimento mais rápido (HAYGREEN e BOWYER, 1982; VITAL, 1984).

Já para as coníferas, que possuem anéis de crescimento distintos, a porcentagem de lenho tardio para indivíduos de crescimento lento é maior do que para aqueles de crescimento

vigoroso. Quando o crescimento é lento, não apenas a largura do anel é reduzida, mas também a espessura da zona de transição. Com o aumento da competição, a porcentagem de lenho inicial (menos denso) decresce, e a proporção de lenho tardio aumenta, aumentando a massa específica para as árvores de crescimento lento (PAUL, 1939; FOELKEL *et al*., 1975; KOLLMANN e CÔTÊ, 1968).

A variação da massa específica entre as espécies depende de sua interação com o ambiente e das variações verificadas nas propriedades das fibras e a proporção entre os diversos elementos. Do ponto de vista tecnológico, tão importante quanto o estudo da variabilidade individual da massa específica é o diagnóstico de sua variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido transversal ou radial, como no sentido longitudinal (BARRICHELO *et al.,* 1983).

Para as principais coníferas plantadas no Brasil, a massa específica básica decresce com a altura. Gatto (1999) encontrou, para *Pinus elliottii* (13 anos), 0,43 e 0,38 g/cm^3; para *Pinus taeda* (13 anos), 0,46 e 0,38 g/cm^{3}e para *Araucaria angustifolia* (19 anos), 0,47 e 0,33 g/cm^3 respectivamente, a 0 e 100% da altura comercial. Já para *Eucalyptus* spp., Barrichelo *et al.* (1983) encontraram, para *Eucalyptus microcorys, Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus triantha*, uma variação tipicamente crescente; a tendência das espécies *Eucalyptus gumifera* e *Eucalyptus grandis* foi crescente partindo do nível do DAP; as espécies *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus saligna* apresentaram valores alternados e decrescentes.

De acordo com Gonzaga *et al.* (1982), a madeira de *Acacia mearnsii* com 7,5 anos, diminui sua massa específica básica da base até cerca de 25% da altura comercial (menor massa específica) para depois aumentar até o topo. Os mesmos autores verificaram que a massa específica para todas as alturas pesquisadas (base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial) aumenta no sentido medula-casca, sem apresentar tendência de estabilização exceto para o topo.

A variação da massa específica no sentido medula-casca (radial) pode ocorrer das seguintes formas: cresce linearmente da medula para a casca (caso mais comum); decresce nos primeiros anos e cresce nos anos subseqüentes; cresce no início, próximo à medula, permanecendo, a seguir, mais ou menos constante ou podendo decrescer nas porções mais próximas à casca e/ou decresce linearmente da medula para a casca (PANSHIN e ZEEUW, 1970).

Para Foelkel *et al*. (1982), o modelo de variação da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus saligna*, com idade inferior a 10 anos, é de um crescimento gradual no sentido medula-casca, sendo a madeira do cerne menos densa que a do alburno. Tomazelo Filho

(1985), repetindo o experimento com *Eucalyptus saligna* e com *Eucalyptus grandis* com árvores de 10 anos de idade procedentes de sementes australianas, também encontraram um aumento da massa específica no sentido medula-casca. Schilling *et al.* (1997), estudando *Pinus elliottii* com 10 anos de idade, constataram que a massa específica básica apresentou tendência de aumento com o aumento da idade.

A massa específica básica é afetada pela idade: normalmente aumenta com rapidez durante o período juvenil e depois de maneira mais lenta até atingir a maturidade e, a partir daí, segue mais ou menos constante (PANSHIN e ZEEUW, 1970).

De acordo com Barrichelo e Brito (1978), em madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus caribea* var. *hondurensis*, há uma correlação positiva entre a proporção de lenho tardio e a massa específica básica. Assim, a maior massa específica decorrente de uma maior proporção de lenho tardio é explicada pelo fato das fibras do lenho tardio apresentarem menor largura, menor diâmetro do lúmen e maior espessura da parede. Conseqüentemente, apresentam menor coeficiente de flexibilidade, maior fração de parede e maior índice de Runkel. Concluíram, ainda, que a massa específica ao nível do DAP é relativamente baixa por causa da alta proporção de lenho inicial em volume e a baixa massa especifica do lenho inicial. Dessa forma, recomendam para a produção de celulose, retardar o maior tempo possível o abate da floresta para uma maior formação de lenho tardio.

Lenho juvenil/adulto

O lenho juvenil (madeira juvenil) corresponde a uma região central da árvore de forma cilíndrica, com diâmetro mais ou menos uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore, podendo formar parte do alburno ou do cerne no tronco, se esse último já estiver presente na árvore. Já o lenho adulto (madeira adulta) é formado na fase adulta da árvore sempre posterior ao lenho juvenil (COWN, 1992). Para Ramsay e Briggs (1986), a madeira juvenil é o xilema secundário formado durante a fase juvenil do câmbio vascular da árvore (estágios iniciais da vida da árvore). Esse período varia conforme a espécie, e sua proporção pode ser afetada pelas condições ambientais. A madeira juvenil caracteriza-se anatomicamente por um progressivo acréscimo nas dimensões das células e por correspondentes alterações na sua forma, estrutura e disposição em sucessivos anéis de crescimento.

A maioria dos estudos de variabilidade do lenho demonstram uma tendência nas propriedades da madeira no sentido medula-casca, uma variação radial, freqüentemente, descrita em zonas de madeira juvenil e adulta. Madeira juvenil, a porção do tronco da árvore

que cerca a medula, é caracterizada por uma mudança progressiva nas características da célula e nas propriedades da madeira (PANSHIN e ZEEUW, 1970).

A variação radial aparece ao longo do tronco e pode ser explicado, em termos, por mudanças nas dimensões dos traqueídeos e, em último caso, pelo crescimento e produção hormonal (LARSON, 1973). Desta forma, as propriedades da madeira não são uniformes da medula para o exterior; a madeira dos primeiros anéis formados apresenta menor massa específica, menor comprimento de fibras entre outras características. Em anéis sucessivos, partindo do centro da árvore, verifica-se o aumento da massa específica e das características anatômicas (comprimento, diâmetro, lúmen e espessura das paredes das fibras, etc.) A taxa de mudança na maioria das propriedades é muito rápida nos primeiros anéis; os anéis posteriores vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta (BENDTSEN, 1978).

Embora a madeira juvenil não seja necessariamente inferior, por exemplo, para papel de imprensa e para a qualidade da impressão no papel (ZOBEL, 1984), é bem sabido que suas propriedades podem afetar algumas propriedades da madeira sólida. E dessa forma, há interesse considerável no conhecimento de suas propriedades, pois a proporção desse tipo de lenho influencia na qualidade dos produtos de desbaste, no manejo e na administração da colheita final.

De modo geral, a maioria dos trabalhos sobre madeira juvenil enfatiza que o crescimento rápido nas plantações origina a formação de madeira de qualidade inferior e que, atualmente, é grande a proporção de madeira juvenil comercializada nos mercados, trazendo como resultado problemas de qualidade nos produtos obtidos desse tipo de matéria-prima (BROWN e MCWILLIAMS, 1989). Assim, definir a idade aproximada em que a madeira juvenil se torna em madeira adulta, é de grande importância prática, já que a proporção madeira juvenil no mercado é crescente. Tal informação permitirá estimar melhor os valores comuns entre as propriedades de madeira juvenil e adulta e, conseqüentemente, contribuirá para melhorar a utilização tecnológica da madeira juvenil e adulta (BENDTSEN e SENFT, 1986).

Dessa forma, para entender melhor a extensão e qualidade da madeira juvenil, precisa-se definir a demarcação entre os lenhos, uma tarefa complicada porque a mudança do lenho juvenil para lenho adulto normalmente acorre gradualmente durante os anos (BENDTSEN, 1978). Para identificar a demarcação, já se utilizou vários métodos com complexidade e objetividade. Estes variam desde identificar o aparecimento empírico da madeira juvenil por exame visual, até análises complexas de seções transversais do tronco com aplicação de técnicas de regressão não-linear (ZOBEL *et al*., 1958; ROOS *et al*., 1990). O método,

freqüentemente, mais utilizado é o exame visual de desenhos gráficos das propriedades da madeira em anéis observados desde a medula, obtidos através de raio X, maceração, etc. (BENDTSEN e SENFT, 1986; CLARK e SAUCIER, 1989).

Shiokura (1982) definiu a idade de segregação da madeira por meio de uma fórmula logarítmica na qual descreveu a variação radial em comprimento de traqueídeos com o número do anel (medula = 0) e a porcentagem de incremento anual em comprimento de traqueídeos. Neste, considerava que, o ponto no qual o incremento anual em comprimento diminuiu 1%, era o limite entre madeira juvenil e adulta.

Já Loo *et al*. (1985), investigando massa específica e comprimento de traqueídeos em *Pinus taeda*, utilizou um procedimento de interação entre duas regressões lineares de dados de árvore individuais, uma para juvenil e outra para madeira adulta, notando uma interseção entre elas. Cada repetição foi feita com os dois subconjuntos criados previamente, e a interseção da última repetição foi considerada como o limite entre madeira juvenil e adulta.

Foelkel *et al*. (1982), estudando os elementos anatômicos de *Eucalyptus saligna* com 9 anos e 8 meses, concluíram que ocorre uma variabilidade da madeira no sentido radial. Estimaram que, até cerca de 25% do diâmetro da árvore (ao nível do DAP), se produz madeira infantil, que se segue pela produção de madeira juvenil até 50 a 60% do diâmetro. A partir daí, a madeira passa a ter suas propriedades estabilizadas, embora mantendo ainda tendência de variação, no entanto não tão acentuadas.

2.4.3 Processo de vergamento

a) Plasticização da madeira

A madeira é ao mesmo tempo plástica (pode ser deformada permanentemente, sem quebrar) e elástica (pode ser deformada levemente e quando a força é removida irá retornar à sua forma original). Abaixo do limite proporcional, a madeira se comporta elasticamente. Acima do limite proporcional, a madeira se comporta de maneira plástica. Um aumento na força resulta em deformação permanente mesmo após esta ser removida. No vergamento, procura-se trabalhar na região plástica, uma vez que, se a operação for realizada na região elástica, esta não seria permanente. Da mesma forma, se a região plástica é excedida, o flexionamento resultaria em defeito (WENGERT, 1998). A característica da madeira que, permite flexionamento mais severo, é a resistência a tração, em virtude que os tratamentos de plasticização deixam a madeira mais plástica na região de compressão (mais de dez vezes àquela da madeira seca sem tratamento). Por outro lado, as propriedades de tração não são

afetadas, no entanto podem, causar uma perda geral em resistência depois que a peça é secada, sugerindo que o tempo de tratamento deve ser o mínimo possível.

Consegue-se plasticidade necessária para o flexionamento por meio da vaporização, cozimento, por plasticização química ou por plasticização em alta freqüência. Para Stamm (1964), calor e umidade agem como plasticizantes da madeira. Calor e umidade agem reduzindo a pressão necessária para que a madeira ceda plasticamente ao mesmo tempo em que aumenta a compressão total que ocorre sob altas pressões. Penetração de fenol-formaldeído nas fibras, somente levemente prepolimerizado, causa plasticização maior da madeira, mesmo esta estando com baixo teor de umidade, quando aquecida a altas temperaturas. Uréia tem sido tentada como agente plasticizador em estudos de flexionamento da madeira. Foi encontrado que o tratamento reduz a pressão requerida para causar flexionamento, mas o seu uso não reduziu o número de falhas que ocorreu comparada com o flexionamento convencional com vapor.

Na vaporização, normalmente se trabalha com vapor a uma atmosfera de pressão e a 100ºC durante uma hora para cada 25 mm de espessura da madeira (VORREITER,1958). Já Peña e Peris (1996) recomendam 1,8 min por mm, ou seja, 45 min para cada 25 mm. No entanto, entre a vaporização e o flexionamento não pode passar muito tempo, pois com o resfriamento ocorre também uma forte diminuição da flexibilidade. Para peças de 40 x 40 mm, Vorreiter (1958), recomenda não deixar passar mais de que 10 a 15 segundos e para peças de 80 x 80 mm, não mais do que 20 a 30 segundos.

No lugar da vaporização, pode-se empregar também o cozimento para a plasticização da madeira. A desvantagem do cozimento em relação à vaporização é a maior absorção de umidade que esse processo provoca, especialmente nas partes externas do material, o que certamente irá influenciar no tempo de secagem posterior. Segundo Vorreiter (1958), quando a madeira for seca ao ar (15 a 20% de umidade), pode-se plasticizá-la pelo cozimento ou mesmo da simples imersão em água quente (98ºC). O tempo de cozimento ou imersão, dependendo da espécie, é de 12 a 15 minutos por centímetro de espessura. Já para o USDA (1999), além da espécie, o teor de umidade da madeira também influencia na plasticização, recomendando 15 min/cm para madeira com 20 a 25% de umidade e 30 min/cm para teores de umidade inferiores.

No entanto, segundo Peña e Peris (1996), a madeira pode ser flexionada verde ou muito seca, mas os melhores resultados são obtidos para o teor de umidade de 18%, pois o risco de ruptura por deformação é menor. Já Galvão e Jankowsky (1985) mencionam que a faixa de umidade (base seca) entre 18% e 20% é mais adequada, pois apesar de uma umidade maior

facilitar o curvamento, ocasionaria o aparecimento de rachaduras por causa da redução na resistência da madeira.

Da mesma forma, Prugger (2004) utiliza, para peças longas como corrimão de escadas, teor de umidade em torno de 14%. Diferente das outras técnicas e utilizando máquinas que vergam tubos de metal, esse autor realiza vergamento a frio para raios de 1:10. No entanto, o autor utiliza espécies européias .

Na plasticização química, as madeiras tratadas com determinados produtos químicos ou com suas soluções como amônia, melamina, oxidifenil e α–naftilamina, experimentam uma melhora mais ou menos acentuada de sua flexibilidade, mas também, uma menor estabilidade após o flexionamento (VORREITER, 1958).

Segundo Kollmann (1951), o tratamento de madeiras com produtos químicos não melhora sua flexibilidade em relação a outros tratamentos, mas pode atuar muito bem contra mudanças indesejáveis de coloração.

Na plasticização em alta freqüência o aquecimento se dá uniformemente e a madeira não absorve e nem perde umidade em conseqüência da rapidez do processo. As peças, já com umidade equilibrada (não inferior a 14%), são submetidas a um campo de alta freqüência de aproximadamente 10^6 a 10^7 Hertz (comprimento de onda entre 30 a 300 m), pouco antes ou mesmo parcialmente durante o flexionamento, em que são aquecidos por poucos minutos a 100ºC. No entanto, esse sistema tem alguns inconvenientes, tais como o elevado custo do tratamento, além da possibilidade de provocar colapso na madeira, sobretudo naquelas madeiras pouco permeáveis. O aquecimento da água contida na madeira faz com que esta tente escapar da célula provocando a ruptura da parede celular (KOLLMANN, 1951; VORREITER, 1958; PEÑA e PERIS, 1996).

Também é possível dobrar madeira sem amolecer ou plasticizar por tratamentos. Porém, a estabilidade do produto final pode não ser tão permanente quanto dos tratamentos nos quais são utilizados métodos de amolecimento e plasticização.

b) Raio de vergamento

O raio de vergamento ou de curvatura, corresponde à distância entre o centro do molde e a metade da espessura da peça a ser vergada. É uma definição inexata quando se compara a espécie a ser vergada, seu tipo de lenho (adulto, juvenil), comprimento e espessura da peça. No entanto, este deve estar relacionado à técnica de vergamento a ser utilizada, como taxa de compressão longitudinal, uso ou não de cinta de flexão, e metodologia de plasticização. De

fato, sem uma correlação conjunta destes fatores, não será suficiente o raio puro e simples como indicativo para uma determinada espécie.

De acordo com Cozzo (1956), a flexibilidade é uma virtude de poucas madeiras que, por isso, se estima em alto grau. Sua alta plasticidade permite dobrar-se em forma pronunciada sem que se produza fenômenos de ruptura, estilhaços, etc.. Ela existe em espécies de estrutura homogênea, de textura fina a mediana, e em particular com grã direita, fibras longas e de boas proporções de parênquima. Por outro lado madeiras muito coloridas, resinosas ou muito duras possuem escassa flexibilidade.

As madeiras de folhosas de uma forma geral permitem um flexionamento bem melhor do que as madeiras de coníferas. Nessas últimas, as diferenças de massa específica e do coeficiente de flexionamento existentes entre o lenho inicial e tardio impedem uma distribuição equilibrada das tensões no perfil da peça, causando problemas de flexionamento. Madeiras de folhosas de porosidade em anel flexionam-se mais facilmente que madeiras de porosidade difusa. Madeiras de massa específica aparente a 12% de umidade entre 0,5 e 0,9 g/cm^3 são as que apresentam melhor flexibilidade sem, entretanto, existir uma correlação clara entre estes dois fatores (KOLLMANN, 1951).

A madeira destinada ao flexionamento deve ser de grã direita, sem nós, sem fendilhamentos, plástica e completamente saudável, como também apresentar anéis de crescimento regularmente distribuídos (WENGERT, 1998).

A madeira abatida no inverno flexiona-se melhor do que madeira abatida no verão; peças retiradas da região próxima à base da árvore são mais adequadas do que as retiradas do meio ou das proximidades do ápice. Não existem diferenças marcantes em relação ao flexionamento de cerne e alburno, no entanto os autores (BUCHTER *et al.*, 1993; KOLLMANN, 1951; VORREITER, 1958) são unânimes em afirmar quando possível a peça deve ser vergada para o lado do cerne (compressão), pois este lado apresenta lenho mais jovem, com menor resistência a tração. Entretanto, árvores muito velhas, de crescimento muito rápido ou muito lento não se comportam de forma ideal quando do flexionamento (BUCHTER *et al.*, 1993).

Além de se procurar evitar madeiras com nós, fendilhadas, de grã oblíqua ou atacadas por fungos e insetos, deve-se atentar sobretudo para se evitar madeiras rígidas, dando preferência àquelas que, por natureza, sejam plásticas, já que as primeiras admitem tensões de ruptura bem menores do que as segundas. A causa da plasticidade ou rigidez natural pode-se atribuir à formação de fibras longas ou curtas em razão das condições de crescimento boas ou

ruins, ou também ao ataque de fungos e insetos durante o armazenamento (KOLLMANN, 1951).

Segundo Wengert (1998), o U.S. Forest Service avaliou 25 espécies de madeira de folhosas em relação à qualidade do vergamento. Nos ensaios, a madeira de nogueira-pecã foi classificada entre as seis melhores para essa finalidade. Ao analisar vinte árvores de carvalho branco, concluiu que a massa específica e a taxa de crescimento não produziam efeitos na qualidade do vergamento. No entanto, a qualidade do vergamento foi relacionada a certos defeitos que reduzem a resistência: grã cruzada tem maior probabilidade de falhar do que grã reta; nós, que são acompanhados por distorção da grã e representam áreas frágeis; racha anelar, separação da madeira paralela ao anel de crescimento (aceboladuras), podem causar falhas por cisalhamento; a medula é uma parte muito frágil e fraturas são prováveis nessa região; já rachaduras superficiais, em conseqüência de condições impróprias de secagem, podem resultar em protuberâncias ou ferpas soltas na superfície da madeira vergada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme citado anteriormente, foram escolhidas as madeiras de açoita-cavalo, plátano e nogueira-pecã em razão de sua presença e disponibilidade no Rio Grande do Sul para a utilização no vergamento.

3.1 Caracterização da área de estudo

A região da Depressão Central (Figura 4) constitui uma área sem grandes variações altimétricas, em que as maiores cotas se situam ao redor de 200 m, onde dominam as amplas e alongadas formas de topos convexos ou planos cujas encostas caem suavemente em direção aos vales, com aprofundamento médio em torno dos 40 m (HERRMANN e ROSA, 1990). A vegetação desta Região classifica-se em floresta Estacional Decidual.

A Encosta Superior do Nordeste está encravada entre a Encosta Inferior do Nordeste e os Campos de Cima da Serra. Sua área perfaz um total de 7.683 km^2. O relevo é muito montanhoso, de formação geológica basáltica. A Região é recortada profundamente por rios que formam vales, com altitudes de até 800 metros nos limites com o Planalto (FORTES, 1956). A vegetação dessa Região classifica-se em floresta Ombrófila Mista.

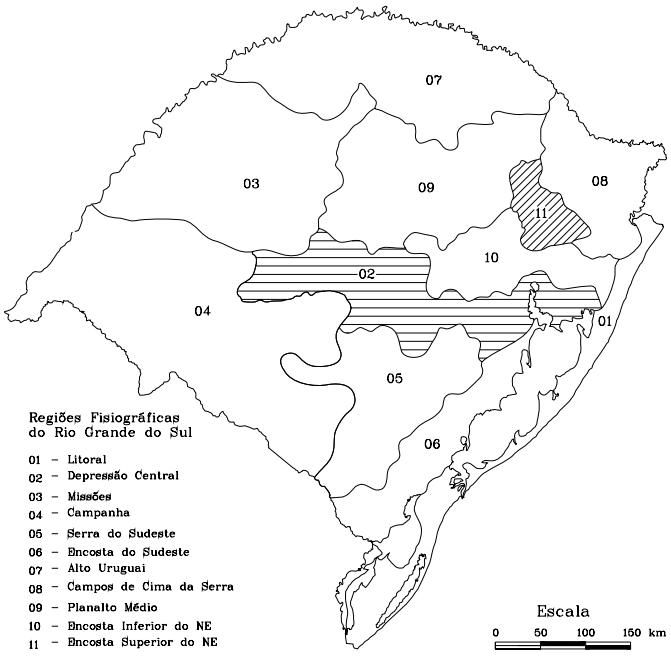


Figura 4 - Regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul, salientado (hachurada) as áreas de coleta do material.

3.2 Coleta do material

Para o estudo do vergamento das madeiras de açoita-cavalo, plátano e nogueira-pecã, foram eleitas cinco árvores adultas para cada espécie, de bom fuste, com diâmetro superior a 30 cm a 1,30 metros de altura (DAP), localizadas em dois locais do estado do Rio Grande do Sul, de forma a contemplar as principais variações de solo e clima do Estado. O primeiro ponto de coleta está localizado na Depressão Central e o segundo na Encosta Superior do Nordeste (Figura 4).

O material foi selecionado pela extração ao acaso, conforme norma COPANT (1971) e ASTM D5536-94 (1995). Para açoita-cavalo o abate ocorreu em floresta nativa (processo de licenciamento pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente), já para as espécies de nogueira-pecã e plátano, em florestas plantadas. Das árvores cortadas mediu-se o diâmetro cruzado, a altura de inserção do primeiro galho vivo, a altura total e comercial das árvores. A primeira tora de 2,50 m de comprimento foi coletada e transportada para a serraria (Figura 5).

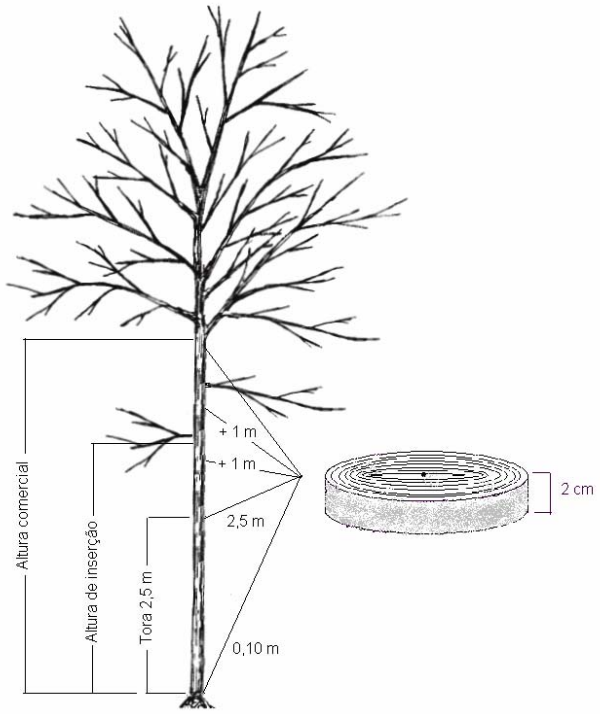


Figura 5 - Esquema de seccionamento do tronco, mostrando a posição de retirada dos discos para determinação da massa específica e segregação dos lenhos juvenil e adulto, altura de inserção do primeiro galho, altura comercial e posição de retirada das amostras.

Também foram retirados discos com aproximadamente 2 cm de espessura em várias posições do tronco. O primeiro e segundo discos foram retirados a 0,1 m, e o terceiro a 2,5 m. Os demais discos foram coletados a cada metro da altura, desde que essas posições não apresentassem galhos ou bifurcações, até a altura comercial da árvore (Figura 5). Dessa forma, o número de discos dependeu da altura comercial restringida a 10 cm de diâmetro. Dos discos que foram retirados a 0,1 m de altura, o primeiro destinou-se para determinação da massa específica básica e o segundo, à segregação dos lenhos adulto e juvenil. O material foi transportado até o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da UFSM e submerso em água para manutenção de suas características.

Na serraria, as toras foram desdobradas e retirado um pranchão central (incluindo a medula, no centro da prancha e bem orientada no sentido longitudinal) de 8 cm de espessura (Figura 6). Os pranchões foram transportados primeiramente para o laboratório onde foram elaborados corpos-de-prova.

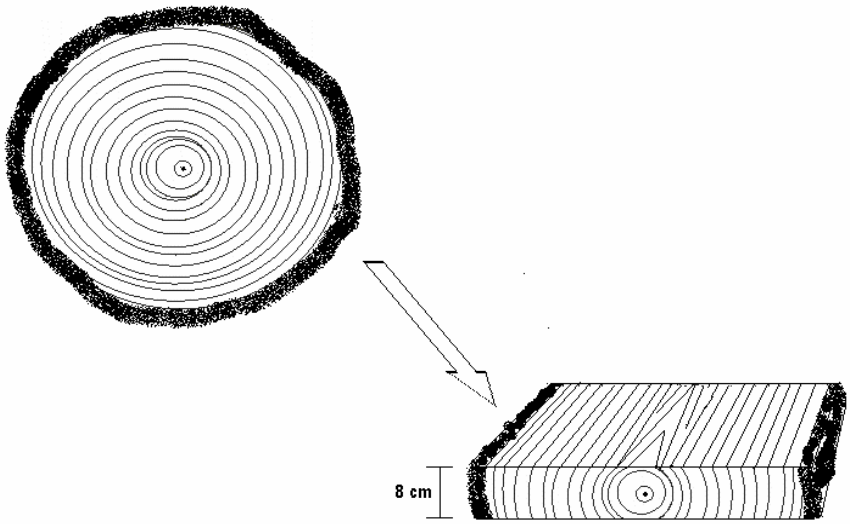


Figura 6 - Esquema de retirada do pranchão central da tora.

3.3 Determinação dos defeitos na forma do tronco

A conicidade, defeito na direção longitudinal do tronco, foi obtida pela subtração do diâmetro na altura de retirada da tora (2,5 m) do diâmetro medido na base da árvore (0,10 m), em relação ao comprimento. Dessa forma, os valores de conicidade são relativos ao material coletado para o estudo do vergamento.

O índice de circularidade dos troncos foi calculada pela medição com suta dos dois diâmetros extremos, máximo e mínimo, à altura do peito (1,30 m). A razão entre o diâmetro máximo e o mínimo foi usada para caracterizar a circularidade.

3.4 Determinação da massa específica

Um dos discos retirados a 0,1 m de altura foi separado para a segregação do lenho juvenil e adulto e o outro para determinação da massa específica básica. Para a determinação da massa específica básica e cálculo da massa específica básica média da árvore ponderada, em função do volume da madeira foram retiradas duas cunhas de cada disco: uma no raio menor (A) e outra no raio maior (B), conforme a Figura 7.

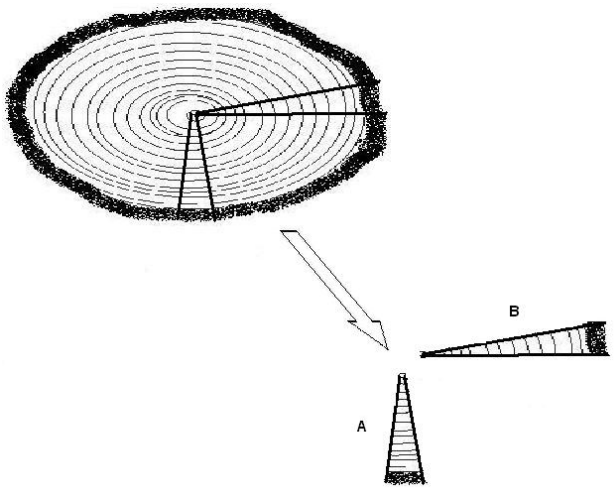


Figura 7 - Esquema da retirada das cunhas para definição da massa específica básica.

Para a massa específica básica, os corpos de prova, previamente descascados, foram colocados em água até atingirem peso constante (VITAL, 1984). Fez-se, então, a determinação do volume pelo método do deslocamento por imersão em água (ASTM D 2395-93, 1995). Tanto o peso, como o volume foram registrados em formulário específico para cada corpo de prova e espécie.

A massa específica básica, foi obtida pela equação:

$$ME_{bás} = \frac{Po}{Vu}$$

em que:

$ME_{bás}$ = massa específica básica (g/cm^3);

Vu = volume úmido (cm^3);

Po = massa seca (g).

Para o cálculo da massa específica básica média ponderada do lenho da árvore, os valores obtidos de cada disco, retirados ao longo da altura comercial da árvore, foram

ponderados com o volume dos toretes (0,1 m, 2,5 m e depois de metro em metro) de acordo com Vital (1984)

3.5 Segregação dos lenhos juvenil e adulto

Para a segregação dos lenhos juvenil e adulto foram utilizadas duas metodologias:

3.5.1 Variação radial de caracteres anatômicos,

3.5.2 Variação radial da massa específica básica.

Na primeira metodologia, a separação dos dois tipos de lenho foi definida pela variação radial (medula-casca) das características anatômicas (comprimento, diâmetro, largura do lúmen e espessura de parede das fibras) e, na segunda metodologia, pela variação da massa específica básica, igualmente no sentido medula-casca. Foram feitas, também, comparações entre os anos de segregação definidos pelas duas metodologias.

Para a separação dos dois lenhos, foram utilizadas duas regressões lineares, uma para a parte ascendente da nuvem de pontos e outra para a parte em que a nuvem se mostrava constante ou descendente. Os limites das duas nuvens de pontos foram definidos visualmente em gráfico antes do ajuste das equações. O ano de início de formação de lenho adulto foi determinado pelo cruzamento das duas retas obtidas pelas equações de regressão.

3.5.1 Análise de caracteres anatômicos

No estudo das características anatômicas das madeiras, muitas vezes, há necessidade de se isolarem os elementos componentes para, dessa maneira, verificar as formas e dimensões de modo mais preciso. Para tal, oferece-se a maceração que consiste em dissolver, por meio de agentes químicos, a lamela média que une as células, podendo-se então estudar isoladamente cada elemento.

Para a maceração, utilizou-se o segundo disco retirado a 0,1 m de altura das árvores-amostras de cada espécie, de onde se retirou uma bagueta central de 2 cm de largura, bem orientada no sentido radial, incluindo a medula no centro desta. As baguetas foram colocadas em solução de 70% de álcool para manutenção de suas características. Para a maceração e confecção de lâminas foi separado apenas o lenho inicial de cada anel de crescimento, no sentido medula-casca, e apenas este foi macerado. Análise microscópica foi feita apenas para três árvores de cada espécie, oriundas apenas da Encosta Superior do Nordeste.

Na maceração propriamente dita, utilizou-se o método de Jeffrey descrito por Burger e Richter (1991).

Mediu-se, primeiramente, cem fibras no primeiro anel (próximo à casca) e posteriormente definiu-se trinta fibras por anel de crescimento como estatisticamente suficiente (GATTO *et al.,* 2006), medindo-se o comprimento (C), diâmetro (D) e diâmetro do lúmen (d) de cada fibra (Figura 8). O comprimento das fibras foi medido em microscópio com aumento de dez vezes e o diâmetro das fibras e do lúmen, com aumento de quarenta vezes. A espessura (e) das paredes das fibras foram obtidas pela metade da diferença do diâmetro da fibra e do lúmen.

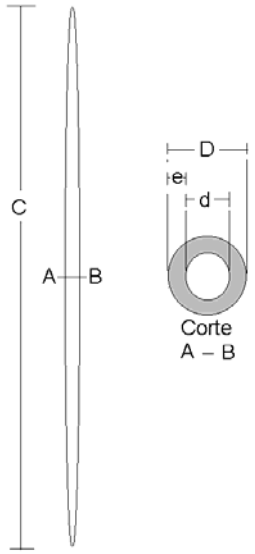


Figura 8 - Esquema de medição das fibras (C = comprimento da fibra; D = diâmetro da fibra; d = diâmetro do lúmen; e = espessura da parede).

3.5.2 Variação da massa específica básica

Para determinar a variação da massa específica básica no sentido medula-casca, utilizou-se a primeira fatia coletada a 0,1 m de altura das árvores amostras para cada espécie, da qual foi retirada uma bagueta central de 2 cm de largura, bem orientada no sentido radial, com a medula no centro. Posteriormente no Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria confeccionou-se corpos de prova a cada centímetro (1 x 2 x 2 cm) no sentido radial (medula-casca) conforme Figura 9. Destes, mediram-se o volume úmido e o peso seco, calculando-se a massa específica básica utilizando-se a metodologia descrita anteriormente (seção 3.4) para as amostras A e B da Figura 9.

Poder-se-ia retirar as amostras em cada anel de crescimento o que facilitaria a definição do anel de segregação. A opção pela metodologia apresentada na Figura 9 foi em conseqüência de que diversos anéis de crescimento eram muito próximos e, nesses casos, o

corpo-de-prova seria extremamente pequeno (menor que 1 cm^3), influenciando na precisão dos resultados.

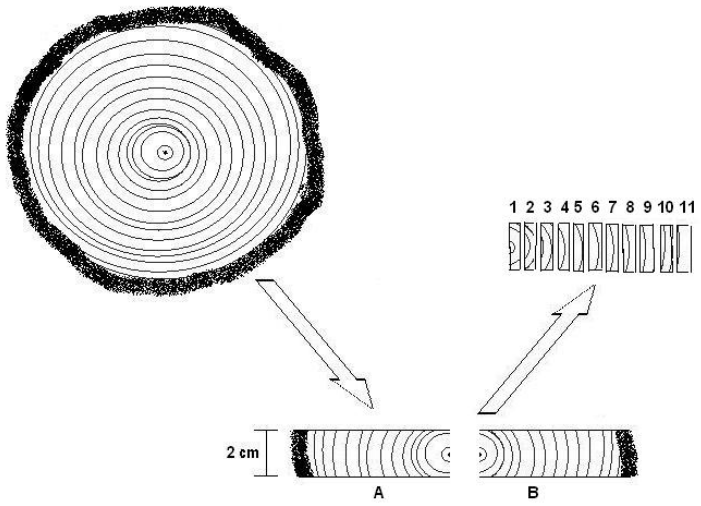


Figura 9 - Esquema da retirada de amostras para verificar a variação da massa específica básica, no sentido medula-casca.

Da mesma forma que na variação das características anatômicas, estimou-se o ano de segregação para cada árvore, totalizando dez árvores por espécie (cinco de cada Região geográfica estudada). Também realizou-se a definição do ano de segregação para o conjunto de dados das árvores de cada Região para cada espécie em estudo, ou seja, o conjunto de cinco árvores da região da Encosta Superior do Nordeste e cinco árvores da Depressão Central definindo o ano de segregação para cada Região e espécie (açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano).

3.6 Processo de vergamento laboratorial

Para os testes de vergamento, foram retirados dos pranchões corpos-de-prova de 2,5 x 2,5 x 72 cm para o raio de 21 cm e 2,5 x 2,5 x 58 cm para o raio de 16 cm, anotando-se as posições de retirada: próximo à casca ou próximo à medula. Os cortes foram realizados com serra circular e acompanharam a direção da fibra. Os corpos de prova foram colocados na câmara climatizada (20^{o}C, 65% umidade relativa) do Laboratório de Produtos Florestais até atingirem umidade de equilíbrio em torno de 14% (base seca).

Para a eleição do tempo de cozimento, foi executado um pré-teste (Figura 10), platicizando-se um corpos-de-prova por espécie em cinco tempos de cozimento (10, 20, 30, 40 e 60 min) com água em fervura. Os corpos-de-prova foram vergados em molde circular, com um raio de 21 cm. A literatura (KOLLMANN,1951; VORREITER, 1958) informa que

quanto maior o tempo de cozimento, até certos limites, melhor será a plasticização da madeira, pois mais plástica a lignina se torna. No entanto, outros elementos da madeira, como a celulose pode se tornar plástica em tempos mais curtos. Assim, foi verificada a incidência de defeitos, após 40 e 60 min de cozimento. Provavelmente, os defeitos devem-se à maior penetração de água no interior da célula (célula cheia), especialmente na periferia do corpo de prova, causando o rompimento celular durante o vergamento. Desta forma, escolheu-se o tempo de 35 min para platicização da madeira, pois os tempos testados de 30 e 40 min foram o que apresentaram menor incidência de defeitos nas três espécies pesquisadas. Escolheu-se dois raios de vergamento a fim de atender os raios mais comumente utilizados na indústria. Assim, os corpos-de-prova, foram sorteados aleatoriamente, cozidos e testados em dois raios de vergamento: 16 e 21 cm.

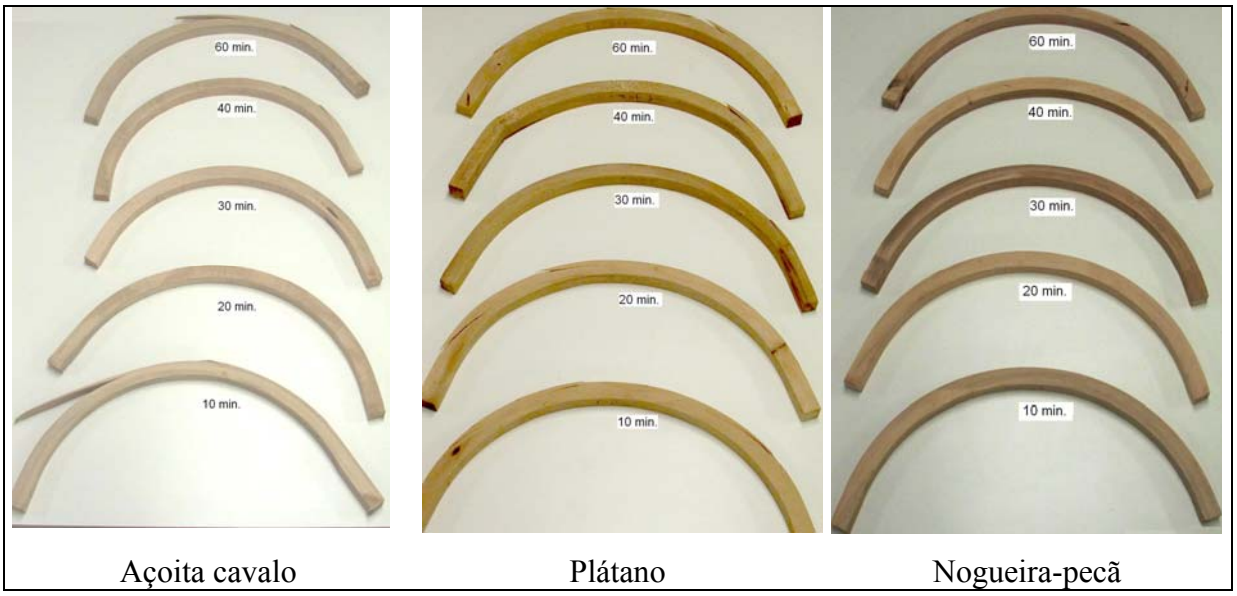


Figura 10 - Pré-teste de vergamento: fervura em água, cinco tempos de cozimento (60, 40, 30, 20 e 10 min), para as espécies estudadas.

Para a realização dos ensaios de vergamento da madeira foi utilizada máquina de ensaios desenvolvida pelo pesquisador (Figura 11), com base em modelos descritos por Kollmann (1951) e Vorreiter (1958). A peça de madeira (corpo-de-prova) foi colocada na máquina de vergamento de maneira que a face tangencial do lado do cerne ficasse no lado interno do raio. Assim, a madeira sofreu pressão tangencial às fibras através do cilindro e foi vergada manualmente pelo deslocamento da alavanca para a direita. No lado interno do raio a madeira sofre tensão de compressão e no lado externo a madeira sofre tensão de tração. Dessa forma, a peça ganhou forma de acordo com o molde de vergamento; já a cinta de flexão foi

mantida pressionando a madeira ao molde até a retirada da peça da máquina, após o resfriamento da madeira.

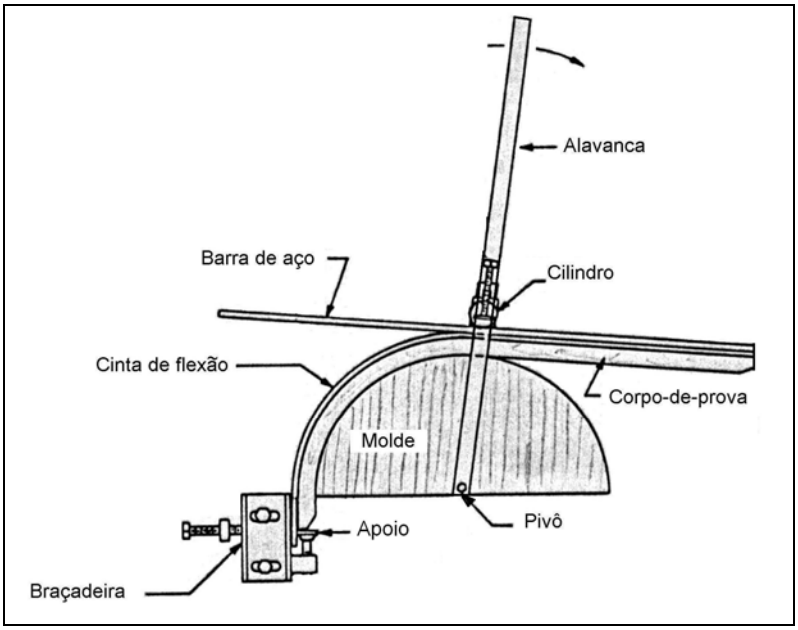


Figura 11 - Máquina de ensaios confeccionada para o vergamento (KOLLMANN, 1951; VORREITER, 1958)

3.7 Processo de vergamento na indústria

O conjunto de atividades (operações unitárias) praticadas na fabricação e/ou transformação de um produto são chamadas de "Processo". Cada indústria, na fabricação de um produto específico, procura adequar suas operações unitárias de acordo com suas necessidades e possibilidades. No entanto, a essência do processo continua a mesma, o que faz do processo único.

Nesse contesto, observou-se, na indústria de móveis Thonart, o processo de vergamento industrial aplicado na produção de móveis vergados. No levantamento, procurou-se observar em cada operação unitária o procedimento adotado e, quando necessário, realizou-se uma complementação na literatura, de forma a caracterizar o máximo possível o processo.

3.8 Caracterização dos corpos-de-prova

Caracterizaram-se os corpos-de-prova em razão: a) número de anéis de crescimento por polegada, b) proporção de lenho inicial, c) teor de umidade e d) massa específica básica a 12%.

a) Número de anéis de crescimento por polegada

O número de anéis de crescimento por polegada foi obtido pela contagem de anéis em uma das extremidades da peça de madeira destinada ao vergamento, já que essa apresentava espessura de uma polegada.

b) Proporção de lenho inicial

Foi realizada medição da proporção de lenho inicial das peças da madeira de nogueira-pecã, já que é uma espécie de porosidade em anel conspícuos. Desta forma o lenho inicial (a) apresenta maiores vasos visíveis, diferentes do lenho tardio (Figura 12). Como a separação dos lenhos inicial/tardio não é visível para a madeira das espécies açoita-cavalo e plátano não foi possível quantificar a proporção de lenho inicial para estas espécies.

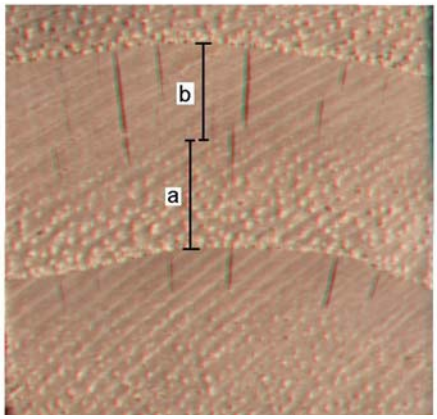


Figura 12 - Esquema de medição do lenho inicial (a) e tardio (b) em peças de madeira de *Carya illinoinensis*.

c) Teor de umidade

Foi definido o teor de umidade das peças de madeira vergadas pesando-se as peças de madeira a cada atividade, isto é, após a estabilização da madeira em câmara climatizada, após o cozimento da madeira a ser vergada, após o resfriamento da peça vergada, após estabilização da peça vergada em câmara climatizada. Posteriormente as peças vergadas foram colocadas em estufa a 103^{o}C até atingir peso constante (peso seco). O teor de umidade base seca foi calculado em planilha eletrônica através da fórmula:

$$Tu = \frac{Pi - Po}{Po} \bullet 100$$

em que:

Tu = teor de umidade na base seca (%);
Pi = peso inicial (g);
Po = peso seco em estufa a 103^{o}C (g).

d) Massa específica básica a 12% de umidade

Para a obtenção da massa específica básica a 12% (USDA, 1999), os corpos-de-prova foram colocados em câmara climatizada até atingirem peso constante. Fez-se, então, a determinação do volume pelo método estereométrico descrito por Durlo (1991). Já, o peso seco foi obtido em estufa a 103^{o}C. Tanto o peso, como o volume foram registrados em formulário específico para cada corpo-de-prova e espécie.

Para o cálculo da massa específica básica, utilizou-se a equação:

$$ME_{12\%} = \frac{Po}{V_{12\%}}$$

em que:

$ME_{12\%}$ = massa específica básica a 12% de umidade (g/cm^3);
$V_{12\%}$ = volume a 12% obtida em câmara climatizada (cm^3);
Po = massa seca (g).

3.9 Análise do vergamento

Na Tabela 2 é apresentado o modelo experimental proposto para a análise do vergamento, com os respectivos fatores analisados para cada Região de estudo.

Utilizaram-se na pesquisa três espécies, cinco árvores por espécie, dois tipos de lenho por árvore, dois tipos de raio com duas repetições. Como o material foi coletado em dois locais, foram realizados um total de 240 ensaios de vergamento.

A análise do vergamento da madeira foi feita pela qualificação e quantificação dos defeitos como proposto por Vorreiter (1958), em duas etapas: uma logo após o vergamento e resfriamento das peças no molde (1h30min) e outra após climatização.

Tabela 2 - Modelo experimental resumido utilizado na análise do vergamento para as espécies estudas em cada Região fisiográfica.

Tratamento	Região Fisiográfica	Espécie	Tipo de Lenho	Raio de Curvatura (cm)
1	Depressão Central	Açoita-cavalo	Juvenil	16
2	Depressão Central	Açoita-cavalo	Juvenil	21
3	Encosta Superior do Nordeste	Açoita-cavalo	Juvenil	16
4	Encosta Superior do Nordeste	Açoita-cavalo	Juvenil	21
5	Depressão Central	Açoita-cavalo	Adulto	16
6	Depressão Central	Açoita-cavalo	Adulto	21
7	Encosta Superior do Nordeste	Açoita-cavalo	Adulto	16
8	Encosta Superior do Nordeste	Açoita-cavalo	Adulto	21
9	Depressão Central	Plátano	Juvenil	16
10	Depressão Central	Plátano	Juvenil	21
11	Encosta Superior do Nordeste	Plátano	Juvenil	16
12	Encosta Superior do Nordeste	Plátano	Juvenil	21
13	Depressão Central	Plátano	Adulto	16
14	Depressão Central	Plátano	Adulto	21
15	Encosta Superior do Nordeste	Plátano	Adulto	16
16	Encosta Superior do Nordeste	Plátano	Adulto	21
17	Depressão Central	Nogueira-pecã	Juvenil	16
18	Depressão Central	Nogueira-pecã	Juvenil	21
19	Encosta Superior do Nordeste	Nogueira-pecã	Juvenil	16
20	Encosta Superior do Nordeste	Nogueira-pecã	Juvenil	21
21	Depressão Central	Nogueira-pecã	Adulto	16
22	Depressão Central	Nogueira-pecã	Adulto	21
23	Encosta Superior do Nordeste	Nogueira-pecã	Adulto	16
24	Encosta Superior do Nordeste	Nogueira-pecã	Adulto	21

Em que: 5 árvores por espécie, duas repetições.

Para a análise na segunda etapa, após retirados do molde, os corpos-de-prova foram condicionados em câmara climatizada (65% de umidade relativa e temperatura de 20^{o}C) para secagem, estabilização e observação do surgimento de novos defeitos e da manutenção da forma.

Os parâmetros qualitativos foram analisados em relação à: procedência, espécie, tipo de lenho e raio de curvatura. Na análise do vergamento, usou-se, também, o critério de; a) inclinação da grã, e b) perda da forma circular.

a) Inclinação da grã

Para a medição do ângulo de inclinação da grã usou-se um transferidor de 180^{o}. A inclinação da grã foi obtida pela medição da inclinação do anel de crescimento no lado

longitudinal radial da peça de madeira, para as espécies em estudo, conforme metodologia descrita por Bodig e Jayne (1982).

b) Perda da forma circular

Foi definida a perda de forma circular do corpo-de-prova após sua liberação do molde e cinta de vergamento. Para essa avaliação, foram empregadas apenas as peças que não apresentaram defeitos, e sem considerar a Região de procedência. Como medida da perda de forma, mediu-se a proporção de retorno absoluto, conforme mostrado na Figura 13. Essa medição foi executada em duas ocasiões: a primeira logo após o resfriamento da peça, e a segunda após a secagem e climatização.

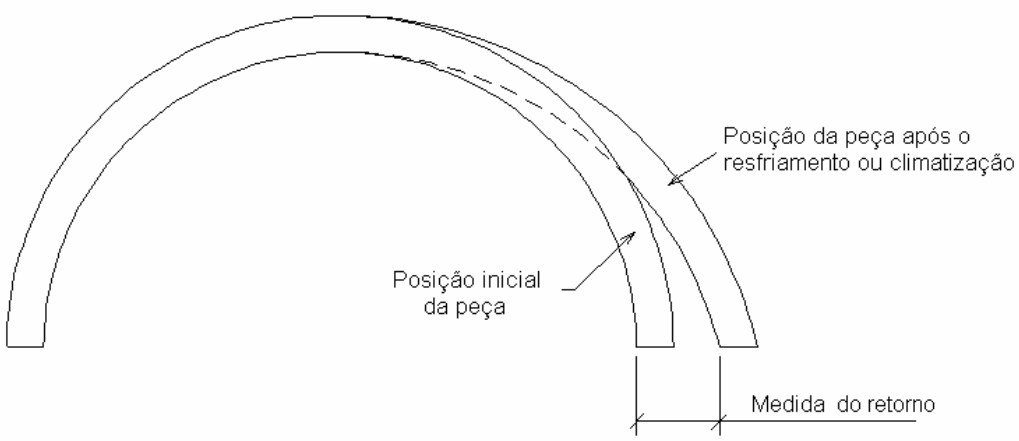


Figura 13 - Esquema demonstrativo da determinação do retorno absoluto.

Já que foram usados dois raios de vergamento, o retorno absoluto foi transformada em relativo (%), pela divisão pelo raio de vergamento, para possibilitar a comparação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do material das árvores em estudo

As árvores coletadas sofreram pequenas variações de manejo, específicas para cada espécie, com vistas ao objetivo da produção, mas não com vistas ao vergamento. Assim, a nogueira-pecã foi manejada com vistas à produção de frutos, o plátano para quebra-ventos e o açoita-cavalo foi coletado de mata nativa, nunca submetida a qualquer tipo de manejo.

Embora em ambas as Regiões de coleta de açoita-cavalo os povoamentos não tivessem sofrido manejo, na Encosta Superior do Nordeste encontrou-se exemplares de melhor qualidade, com fustes melhor formados, quando comparados com os da região da Depressão Central. O diâmetro a altura do peito (DAP) e a idade das árvores variaram, respectivamente, de 30 a 49 cm e 41 a 62 anos na região da Depressão Central e de 31 a 52 cm e 54 a 64 anos na região da Encosta Superior do Nordeste (Tabela 3).

Tabela 3 - Diâmetro à altura do peito (DAP), altura e idade de *Luehea divaricata* em cada Região fisiográfica.

Região Fisiográfica	Árvore	DAP (cm)	Altura (m)		Idade (anos)
			Comercial	Total	
Depressão Central	1	48	10,0	17,0	59,0
	2	30	10,0	17,5	41,0
	3	33	6,0	12,0	41,0
	4	49	10,0	18,0	62,0
	5	35	8,0	14,0	43,0
	Média	39	8,8	15,7	49,2
Encosta Superior do Nordeste	6	39	10,0	17,0	54,0
	7	52	11,0	16,0	64,0
	8	43	7,5	15,0	63,0
	9	52	7,0	14,0	62,0
	10	31	12,0	17,0	54,0
	Média	43,4	9,5	15,8	59,4

Já os exemplares de nogueira-pecã foram plantados em espaçamentos variando de 2,5 x 2,5 m e 3 x 3 m na região da Depressão Central e de 6 x 6 m a 12 x 12 m na região da Encosta Superior do Nordeste. Em ambas as Regiões, o objetivo do plantio era a produção de nozes para o consumo humano e as árvores não sofreram desrama artificial ou poda de formação. O sub-bosque era utilizado para pastoreio ou plantios agrícolas. As árvores se encontravam em pequenos pomares com número de indivíduos ≤15. Também foi observado que as árvores da região da Encosta Superior do Nordeste apresentavam fustes de melhor qualidade que as da

região da Depressão Central. O DAP e idade variaram, respectivamente, de 25 a 48 cm e 15 a 20 anos na região da Depressão Central e 36 a 59 cm e 25 a 40 anos na Região da Encosta Superior do Nordeste (Tabela 4).

Tabela 4 - Diâmetro a altura do peito (DAP), altura, idade e espaçamento de plantio para *Carya illinoinensis* em cada Região fisiográfica.

Região Fisiográfica	Árvore	DAP (cm)	Altura (m)		Idade (anos)	Espaçamento (m)
			Comercial	Total		
Depressão Central	1	47	10,0	16,2	22	3 x 3
	2	48	9,0	16,1	22	3 x 3
	3	27	3,1	9,2	15	2,5 x 2,5
	4	27	3,2	10,0	15	2,5 x 2,5
	5	25	3,2	9,0	20	2,5 x 2,5
	Média	34,8	5,7	12,1	18,8	-
Encosta Superior do Nordeste	6	36	7,0	16,0	27	6 x 6
	7	53	11,0	20,0	29	6 x 6
	8	59	15,7	23,0	40	6 x 6
	9	39	9,0	17,0	25	12 x 12
	10	44	9,0	15,0	26	12 x 12
	Média	46,2	10,3	18,2	29,4	-

Tabela 5 - Diâmetro à altura do peito (DAP), idade e espaçamento para *Platanus x acerifolia* em cada Região fisiográfica.

Região Fisiográfica	Árvore	DAP (cm)	Altura		Idade (anos)	Espaçamento (m)
			Comercial	Total		
Depressão Central	1	32	10,0	18,7	20	3
	2	25	13,0	18,6	18	3
	3	29	13,0	18,5	21	3
	4	44	13,0	17,0	27	4
	5	48	13,2	21,1	30	3
	Média	35,6	12,4	18,8	23,2	3,2
Encosta Superior do Nordeste	6	37	16,5	26,0	24	2,5
	7	42	18,0	26,0	23	2,5
	8	48	16,0	26,0	25	2,5
	9	41	14,0	23,0	24	2,5
	10	46	16,0	23,0	24	2,5
	Média	42,8	16,1	24,8	24	2,5

As árvores de plátano abatidas para a pesquisa encontravam-se em plantios em uma linha com espaçamentos de 3 a 5 m entre árvores, exercendo a função de quebra-vento ou de sustentação de videiras. As árvores não sofreram manejo considerável, apenas o sub-bosque

era capinado quando necessário. Não foi observada grande variação da qualidade do fuste em ambas as Regiões de estudo. O DAP e idade variaram, respectivamente, de 25 a 48 cm e 18 a 21 anos na região da Depressão Central e 37 a 48 cm e 23 a 25 anos na região da Encosta Superior do Nordeste (Tabela 5).

4.2 Caracterização dos troncos

Apesar de se ter eleito árvores com boas características de fuste estas ainda possuíam algum tipo de defeito. O principal defeito, de importância para o vergamento ainda presente nos troncos, foi a inclinação da grã, resultante de troncos naturalmente muito cônicos ou do desdobro inadequado.

Na Tabela 6, observam-se os valores estatísticos sobre a conicidade, o índice de circularidade e a altura de inserção do primeiro galho, para as espécies estudadas nas duas Regiões de coleta.

Nos dados analisados, pode-se observar que os troncos selecionados apresentam uma conicidade média considerável, classificando-se as árvores como cônicas partindo de 1 cm/m (GROSSER, 1980; BURGER e RICHTER, 1991). As árvores estudadas apresentaram uma conicidade variável, mas que, em média (com exceção da nogueira-pecã), pode ser comparável com as de várias espécies de *Eucalyptus*, tradicionalmente utilizadas em reflorestamentos e a algumas espécies da flora nativa do Rio Grande do Sul. Oliveira *et al.* (1999) estudando conicidade em três toras iniciais do tronco, de sete espécies de *Eucalyptus* (*paniculata, tereticornis, citriodora, pilulari*, *cloeziana*, *urophylla e grandis*) encontraram valores médios que variaram de 1,8 cm/m até 2,17 cm/m, para a primeira tora (0 a 4 m). Já Mattos (2002), estudando espécies nativas (angico, canjerana, cedro, grápia e louro) encontrou valores médios que variaram de 1,53 cm/m a 2,59 cm/m.

A espécie que apresentou maior conicidade foi a nogueira-pecã, seguida de açoita-cavalo. Na nogueira-pecã verifica-se também a ocorrência da conicidade máxima (10,8 cm/m) e do maior coeficiente de variação (CV%), superiores aos das outras duas espécies.

Observa-se, na Tabela 6, que as espécies são relativamente circulares, apresentando, muitas vezes, um índice de circularidade (relação DAP máx./ DAP min) igual a um. A menor média encontrada foi para açoita-cavalo (1,01) o que permite dizer que essa espécie, na região da Encosta Superior do Nordeste é a que mais se aproxima da forma circular, em sua secção transversal. O plátano da mesma Região, com média de 1,17, foi a espécie menos circular. O CV% variou de 2,3 para açoita-cavalo da região da Encosta Superior do Nordeste, a 11,57 para nogueira-pecã na mesma Região.

Tabela 6 - Dados morfométricos dos troncos das três espécies estudadas na região fisiográfica da Depressão Central (**1**) e Encosta Superior do Nordeste (**2**).

Espécie			Açoita-cavalo		Nogueira-pecã		Plátano	
			1	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Conicidade (cm/m)	**árvore**	1	3,67	4,00	1,96	3,40	0,87	3,65
		2	1,67	1,00	0,33	2,83	1,20	2,67
		3	3,67	2,33	4,23	10,80	1,83	1,20
		4	2,00	0,96	2,80	1,67	0,30	2,67
		5	2,20	0,83	3,20	3,60	1,40	1,83
	Média		2,64	1,83	2,51	4,46	1,12	2,4
	CV (%)		36,23	74,49	58,37	72,29	51,39	38,77
Índice de circularidade	**árvore**	1	1,18	1,03	1,04	1,03	1,02	1,15
		2	1,03	1,00	1,09	1,04	1,00	1,18
		3	1,06	1,05	1,00	1,18	1,07	1,11
		4	1,04	1,00	1,08	1,05	1,05	1,19
		5	1,16	1,00	1,08	1,35	1,02	1,22
	Média		1,10	1,01	1,06	1,13	1,03	1,17
	CV (%)		6,30	2,13	3,48	11,57	2,73	3,58
Altura inserção (m)	**árvore**	1	8,0	4,5	1,2	2,8	3,1	2,6
		2	6,0	4,5	1,2	2,0	5,5	3,0
		3	4,5	3,0	2,0	2,5	2,6	3,0
		4	3,0	2,6	2,5	2,0	2,5	2,0
		5	2,5	7,0	2,0	2,0	3,2	2,0
	Média		4,8	4,3	1,78	2,3	3,4	2,5
	CV (%)		46,9	40	31,9	16,4	36,2	20,0

Com auxílio da Tabela 6, verifica-se que a inserção de galhos nas árvores é relativamente baixa especialmente para nogueira e plátano, fato decorrente da sua forma de plantio em linha ou com grandes espaçamentos. A menor inserção encontrada foi a da nogueira-pecã (1,2 m) na região da Depressão Central, e a maior inserção foi a 8 m na árvore número um de açoita-cavalo da mesma Região. No entanto, a inserção do primeiro galho ficou bem abaixo da altura comercial.

Os problemas de forma dos troncos são decorrentes da falta de manejo visando à produção de vergados, visto que este não foi o objetivo dos plantios. Se forem feitos plantios com vistas à produção de madeira para vergamento, deve-se programar o manejo adequado dos povoamentos, fazendo-se desramas e desbastes no momento apropriado para a diminuição

da galhosidade, conicidade e índice de circularidade. As desramas também aumentam o comprimento do fuste, importante para a produção de madeira de qualidade.

4.3 Massa específica básica

4.3.1 Massa específica básica média ponderada pelo volume

Na Figura 14 e Tabela 7, pode-se observar que as espécies apresentaram diferenças significativas quanto à massa específica básica média ponderada. Na mesma figura, observa-se que a massa específica média (+) e mediana (linha) da madeira de açoita-cavalo praticamente coincidem e que 50% das informações estão acima e abaixo da média. Já para nogueira-pecã a linha mediana está ligeiramente à direita da média indicando uma maior proporção de pontos coletados para esse lado. Na madeira de plátano, ocorre um maior afastamento para a esquerda da média, indicando uma maior proporção de pontos de coleta para massa específica abaixo da média.

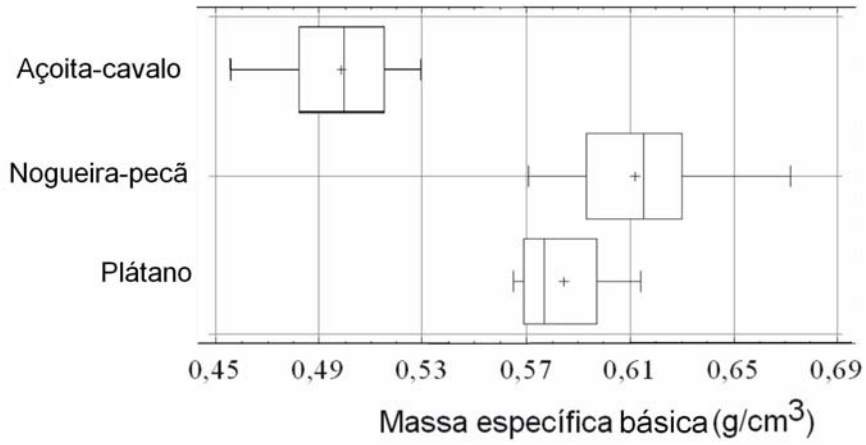


Figura 14 - Massa específica básica média ponderada pelo volume, para as espécies estudadas.

A espécie de madeira, que apresentou maior massa específica básica, foi a nogueira-pecã, seguida pela madeira de plátano, e a madeira de açoita-cavalo. As diferentes massas específicas explicam-se pela natureza anatômica de suas madeiras, visto tratarem-se de espécies diferentes, com características anatômicas próprias, como: espessura de parede, diâmetro do lúmen, proporção e tamanho dos vasos, proporção de parênquima, etc. (PANSHIN e ZEEUW, 1970). A massa específica básica de plátano diminui com a porcentagem de vasos e aumenta com a proporção de raios e fibras (ZOBEL e JETT, 1995).

Tabela 7 - Estatísticas sobre a massa específica básica média ponderada pelo volume para as espécies estudadas.

Espécie	Amostras	Média (g/cm^3)	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)	F	P
Açoita-cavalo	10	0,499[c]	0,0076	0,483–0,514	62	<0,0001
Plátano	10	0,584[b]	0,0076	0,569–0,600		
Nogueira-pecã	10	0,612[a]	0,0073	0,597–0,627		
Total	30	0,565				

Letras diferente entre linhas demonstram diferenças estaticamente significativas ao nível de 95% de probabilidade para as espécies.

Observa-se, na Tabela 8, que, com exceção da madeira de açoita-cavalo, a massa específica básica média não apresentou diferença significativa a 95% de probabilidade, para as Regiões. Provavelmente as espécies plátano e nogueira-pecã não sofrem grandes influências dos efeitos produzidos pelo clima e solos nas Regiões estudadas. Diferentemente de açoita-cavalo que demonstrou uma maior sensibilidade aos efeitos das Regiões, tendo menor massa específica básica na região da Depressão Central.

Tabela 8 - Estatística sobre a massa específica básica média ponderada, para as espécies estudadas em função da região fisiográfica: Depressão Central (1) e Encosta Superior do Nordeste (2).

Espécie	Região	N. Amostras	Média (g/cm^3)	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)	F	P
Açoita-cavalo	1	5	0,484[a]	0,007	0,467–0,501	8,3	0,0207
	2	5	0,514[b]	0,007	0,497–0,531		
Total		10	0,499				
Nogueira-pecã	1	5	0,600[a]	0,011	0,574–0,625	2,7	0,1326
	2	5	0,627[a]	0,012	0,599–0,655		
Total		10	0,613				
Plátano	1	5	0,589[a]	0,009	0,569–0,609	0,5	0,4903
	2	5	0,580[a]	0,009	0,560–0,600		
Total		10	0,584				

Letras diferentes entre linhas demonstram diferenças estaticamente significativas ao nível de 95% de probabilidade para as Regiões.

A diferença de massa específica básica média verificada para açoita-cavalo certamente não pode ser explicada pelo manejo, visto que, em ambas as Regiões, os povoamentos de onde foram retiradas as amostras, se encontravam em floresta nativa. Uma explicação pode ser procurada, eventualmente, pela diferença de idade (Tabela 3), nas diferenças ecológicas (especialmente temperatura) ou na fertilidade do solo dos dois locais de estudo, aliada às

exigências específicas do açoita-cavalo, que podem ser diferentes das exigências das outra duas espécies.

4.3.2 Variação da massa específica básica com altura comercial

Como a massa específica básica pode ser um fator influente no vergamento, é interessante conhecer a distribuição dessa característica ao longo do tronco. Para tanto, seguindo-se a metodologia descrita no capítulo anterior, foi determinada a massa específica básica em diferentes alturas deste. Com os dados obtidos, procurou-se verificar se a variação da massa específica ao longo do tronco poderia ser descrita por algum modelo matemático.

Com isso, foram testados alguns modelos de regressão (utilizando-se como variáveis independentes: h, h^2, h^3 no procedimento Stepwise) conforme as Tabelas 9, 10, 11 e, analisados, considerando-se as estatísticas $R^2_{aj.}$, S_{yx}, valor de F, distribuição de resíduos e visualização gráfica da nuvem de pontos, em relação à curva gerada pelos modelos.

Para a madeira de açoita-cavalo, escolheu-se o modelo (b) por apresentar melhor coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) distribuição de resíduos e visualização gráfica da nuvem de pontos, em relação à curva gerada pelos modelos. A equação mostra uma diminuição geral da massa específica no sentido base-topo (Tabela 9 e Figura 15). A massa específica diminui da base até 3 m e mantem-se praticamente estável até aproximadamente 9 m, voltando a declinar para o topo.

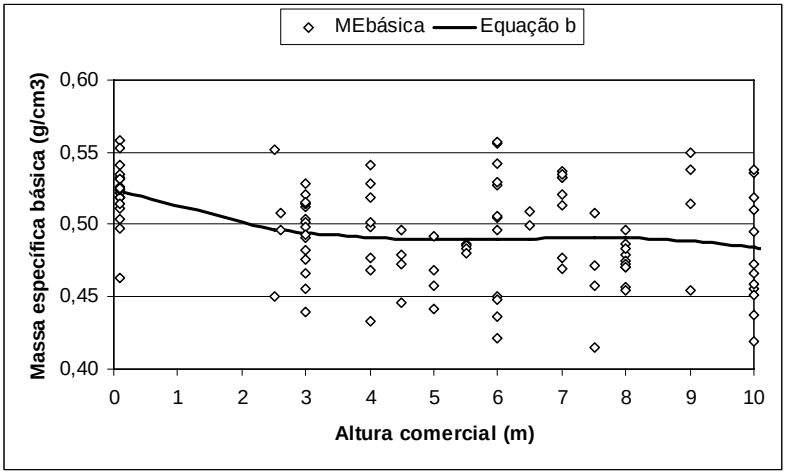


Figura 15 - Variação da massa específica básica com a altura comercial do tronco para madeira de *Luehea divaricata*.

Tabela 9 - Modelos de regressão ajustados para a variação axial da massa específica básica da madeira de *Luehea divaricata* ao longo do tronco.

	Equação	$R^2_{aj.}$	Syx	F	P
a	ME = 0,513146 - 0,00341037*h	10	0,03	14,3	0,0003
b	**ME = 0,524439 - 0,0172641*h + 0,00281215*h^2 - 0,000148263*h^3**	13	0,03	6,8	0,0003
c	ME = 0,593049 - 0,00248532*h + 0,0000756534*h^2	4	0,02	4,5	0,0108

Em que: ME = massa específica básica (g/cm^3); h = altura comercial (m); em negrito, o modelo que melhor se ajustou aos dados.

Na Tabela 10, podem-se observar as equações pré-selecionadas pelo procedimento Stepwise para a massa específica básica da madeira de nogueira-pecã, dentre elas, em negrito, a equação "a" escolhida, por apresentar melhor coeficiente de determinação ajustado.

Tabela 10 - Modelos de regressão ajustados para a variação axial da massa específica básica da madeira de *Carya illinoinensis* ao longo do tronco.

	Equação	$R^2_{aj.}$	Syx	F	P
a	**ME= 0,576246 + 0,0226939*h - 0,00233463*h^2 +0,0000800378*h^3**	**35**	**0,03**	**28,2**	**<0,0001**
b	ME = 0,58778 + 0,0113474*h- 0,000429139*h^2	31	0,04	35,0	<0,0001
c	ME= 0,601095 + 0,00531009*h	27	0,04	56,0	<0,0001

Em que: ME = massa específica básica (g/cm^3); h = altura comercial (m); em negrito, o modelo que melhor se ajustou aos dados.

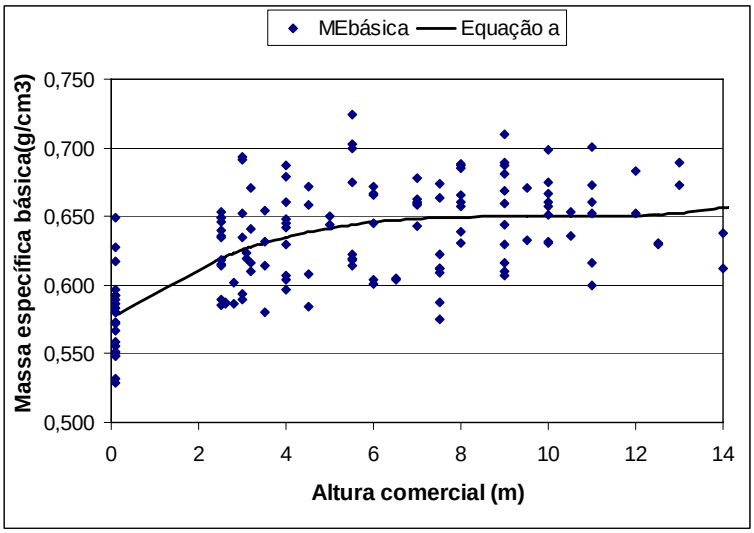


Figura 16 - Variação da massa específica básica com a altura comercial para madeira de *Carya illinoinensis*.

Na madeira de nogueira-pecã, ocorre um crescimento da massa específica básica no sentido base-topo (Figura 16). O modelo (Tabela 10) demonstra um crescimento da massa específica básica até a altura de 6 m, se mantendo estável a partir daí.

A massa específica básica para a madeira de plátano decresce linearmente com a altura (Tabela 11 e Figura 17). Entretanto, a equação escolhida, foi a mais simples, possui um coeficiente de determinação muito baixo, provavelmente pela grande variação dos dados, necessitando de um maior número de árvores para uma melhor precisão dos resultados.

Tabela 11 - Modelos de regressão ajustados para a distribuição da massa específica básica da *Platanus x acerifolia* ao longo do tronco.

	Equação	$R^2_{aj.}$	Syx	F	P
a	**ME= 0,589896 - 0,00128403*h**	4,0	0,03	9	0,0039
b	ME= 0,592449 - 0,00245061*h + 0,0000767168*h^2	4,3	0,03	5	0,0056
c	ME = 0,595337 - 0,00501117*h + 0,000483214*h^2 - 0,0000165225*h^3	4,4	0,03	4	0,0096

Em que: ME = massa específica básica (g/cm^3); h = altura comercial (m); em negrito, o modelo que melhor se ajustou aos dados.

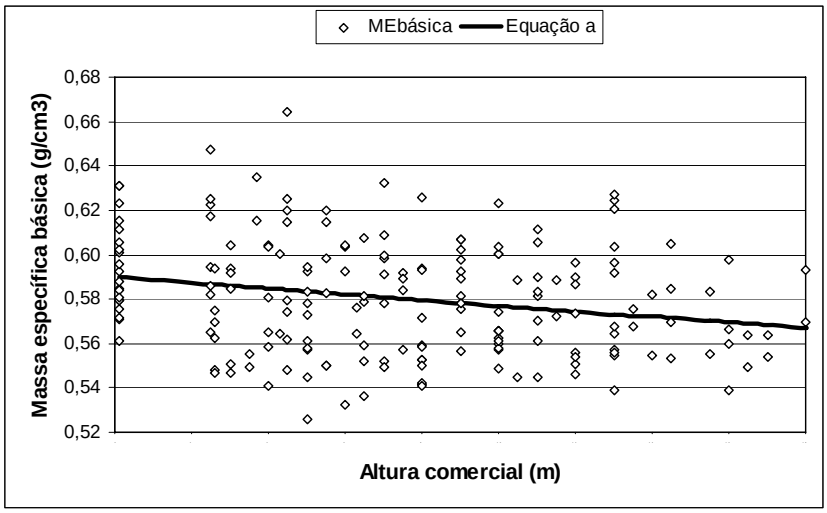


Figura 17 - Variação da massa específica básica com a altura comercial para a madeira de *Platanus x acerifolia*.

As espécies estudadas demonstraram variação na massa especifica no sentido base-topo e um comportamento diferenciado entre elas. A variação entre as espécies estudadas é em conseqüência das diferenças das espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses fatores e da quantidade de componentes extrativos presentes por unidade de volume (PANSHIN e ZEEUW, 1970). Já a causa da variação axial não está bem

definida. Alguns autores a atribuem à formação de madeira de reação e outros ao conjunto de fatores ligados às condições de crescimento da árvore (ZOBEL, 1984; SOUZA *et al.*,1986).

A tendência da massa específica de decrescer com a altura, como ocorre com a madeira de açoita-cavalo e plátano, é ressaltada por vários pesquisadores, porém estudando outras espécies (TOMASELLI, 1979; MENDONÇA, 1982, KOLMANN, 1951). Já o crescimento da massa específica com a altura, caso da nogueira-pecã, é mais restrito entre as espécies, e mais comumente encontrada em espécies com poros difusos o que não é o caso desta espécie e sim de algumas espécies do gênero *Eucalyptus* (BROWN *et al.,* 1989; FERREIRA, 1970).

Apesar de estatisticamente válidos, os valores de coeficiente de determinação e erro-padrão da estimativa dos modelos selecionados para descrever a variação da massa específica básica em razão da altura comercial indicam que essa variação não pode ser explicada unicamente por tais fatores. Dessa forma, esses modelos têm utilidade apenas para uma noção do comportamento da massa específica em razão da altura comercial. A alta variabilidade das amostras pode ter ocasionado o baixo coeficiente de determinação nos modelos de regressão testados.

4.4 Segregação do lenho juvenil/adulto

Como comentado na revisão de literatura, o tipo de lenho pode influenciar muito no processo de vergamento.

Para estimar a idade ou demarcar a madeira jovem/adulta das espécies em estudo, utilizou-se a medição de características anatômicas (comprimento, diâmetro, largura de lúmen e espessura de parede das fibras), variação da massa específica básica, ao longo do raio.

Na segregação do lenho, testaram-se equações lineares simples e quadráticas e optando, por fim, pelas simples, pois as quadráticas apresentavam dificuldades em definir o ano de segregação, mesmo tendo, em alguns casos, qualidades estatísticas superiores às lineares. Outro fator levado em consideração foi a visualização de desenhos gráficos, que é indispensável para esse tipo de trabalho, e utilizado por vários pesquisadores (ABDEL-GADIR e KRAHMER, 1993; CLARK e SAUCIER, 1989).

4.4.1 Características anatômicas

A maceração, utilizada neste trabalho, é o principal artifício da anatomia da madeira para definir as dimensões de fibras unitárias em uma espécie florestal. A variação no dimensões de comprimento, diâmetro, largura de lúmen e espessura de parede das fibras ao

longo do raio (medula-casca), podem definir a maturação do lenho, com o auxílio de técnicas de regressão e/ou de visualização.

Açoita-cavalo

As Figuras 18 e 19 descrevem a variação do comprimento da fibra com a idade de formação da madeira de açoita-cavalo.

Observa-se (Figura 18) um aumento do comprimento das fibras nos primeiros 30 anos de vida da árvore aproximadamente. A partir daí, o comprimento se estabiliza até ao redor dos 45 anos. Em seguida, oscila levemente. A variação radial do comprimento da fibra é grande, variando de extremamente curto (<750 μm) nos primeiros anéis de crescimento (lenho juvenil) a extremamente longos (>2000 μm) no lenho adulto.

Equação:	R^2_{aj}	S_{xy}	F	P
Comprimento=1260,34+31,2316*anel - 0,390719* anel^2	38	218	2762	<0,0001

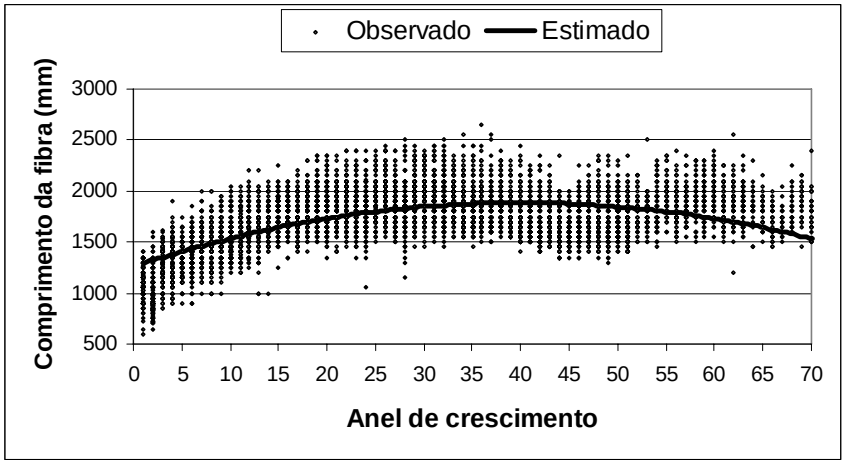


Figura 18 - Variação do comprimento da fibra com a idade de formação do lenho para a madeira de *Luehea divaricata*.

Na Figura 19, já com o auxilio de duas regressões simples, pode-se definir o ano de segregação dos lenhos juvenil-adulto em 21 anos aproximadamente.

Os parâmetros anatômicas diâmetro das fibras, tamanho do lúmen e espessura da parede celular mostraram-se inadequados, metodologia usada, para a segregação entre o lenho juvenil e adulto, dado os baixos coeficientes de determinação Tabelas 12 e 13. Para o açoita-cavalo são apresentadas as equações ajustadas, a título de ilustração, com vistas a demonstrar a inadequação do uso de tais parâmetros na separação entre o lenho juvenil e adulto.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) Comprimento = 1158,54 + 34,8631*anel	62	190	6215	<0,0001
b) Comprimento = 1948,83 - 3,13954*anel	3	205	140	<0,0001

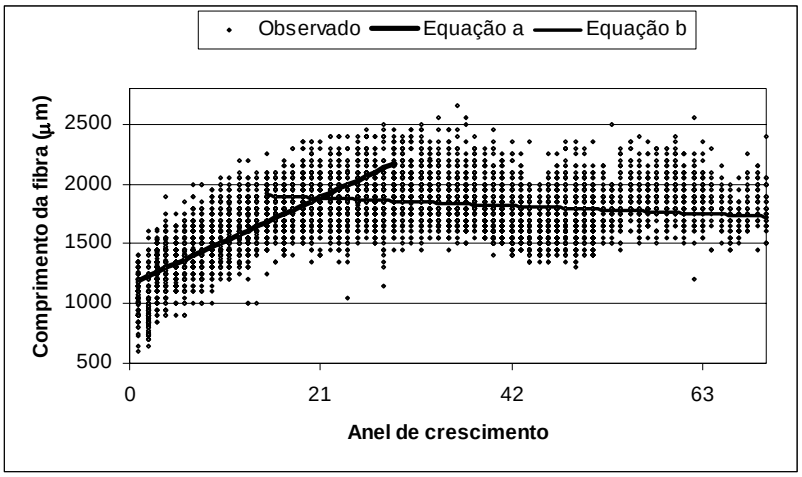


Figura 19 - Idade de segregação do lenho juvenil e adulto em razão do comprimento da fibra da madeira de *Luehea divaricata* para o conjunto de dados das três árvores estudadas.

Tabela 12 - Equações ajustadas para estimar o diâmetro das fibras, a largura do lúmen e a espessura de parede (µm) para madeira de *Luehea divaricata*.

Equação	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
Diâmetro=18,715+0,203242*anel-0,00305849* anel^2	9	3	458	<0,0001
Lúmen=10,9215+0,0689934*anel-0,00107514* anel^2	2	2,34	93	<0,0001
Parede=3,8968+0,0671242*anel-0,00099168* anel^2	10	0,95	515	<0,0001

Tabela 13 - Equações ajustadas para definição da idade de segregação do lenho juvenil e adulto em razão do diâmetro da fibra, largura do lúmen, espessura da parede celular (µm) para a madeira de *Luehea divaricata*.

Equação	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) Diâmetro = 18,6351 + 0,156939*anel	5	2,81	111	<0,0001
b) Diâmetro = 24,5635 - 0,0738317*anel	6	3,05	351	<0,0001
a) Lúmen = 10,7663 + 0,0653873*anel	3	2,44	132	<0,0001
b) Lúmen = 12,8576 - 0,0262738*anel	2	2,28	114	<0,0001
a) Parede = 3,94244 + 0,0477642*anel	11	0,96	452	<0,0001
b) Parede = 5,56541 - 0,00723665*anel	1	0,9	19	<0,0001

De maneira geral, a variação das características anatômicas da madeira de açoita-cavalo em estudo pode ser resumida da seguinte forma:

– O comprimento das fibras apresentaram aumento de suas dimensões nos primeiros anos de vida, seguida de uma estabilização e um posterior pequeno decréscimo.

– Não foi observado comportamento claro para o diâmetro, a espessura da parede celular e o lúmen das fibras, impossibilitando a definição do ano de segregação com base nestas características anatômicas.

– A segregação entre lenho juvenil e adulto da madeira de açoita-cavalo pode ser feita pelo comprimento das fibras. Através desta variável, o ano de segregação definido pela análise gráfica e pelas regressões foi de 21 anos;

– A idade de segregação definida pelas características anatômicas para a espécie açoita-cavalo foi superior à faixa de segregação (5º ao 20º anel de crescimento) descrita para outras espécies pesquisadas (MUÑIZ, 1993; BENTSEN, 1978).

Nogueira-pecã

Observa-se, nas Figuras 20 e 21, a variação do comprimento da fibra em razão da idade de formação do lenho para a madeira de nogueira-pecã.

Nos primeiro anos, ocorre um aumento no comprimento da fibra até, aproximadamente, 15 anos. Em seguida, tem-se uma estabilização no crescimento vindo a decrescer próximo ao 23º anel de crescimento até a idade em estudo. Observa-se também que o comprimento nos últimos anéis de crescimento são superiores ao comprimento dos primeiros anos. Assim, a variação do comprimento da fibra da madeira de Nogueira-pecã passa de extremante curtos (<750 μm) nos primeiros anéis de crescimento, lenho juvenil, a longos (1500 – 2000 μm) a medida que se distancia da medula.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
Comprimento=940,678+36,3516*anel-0,92304* anel^2	25	173	440	<0,0001

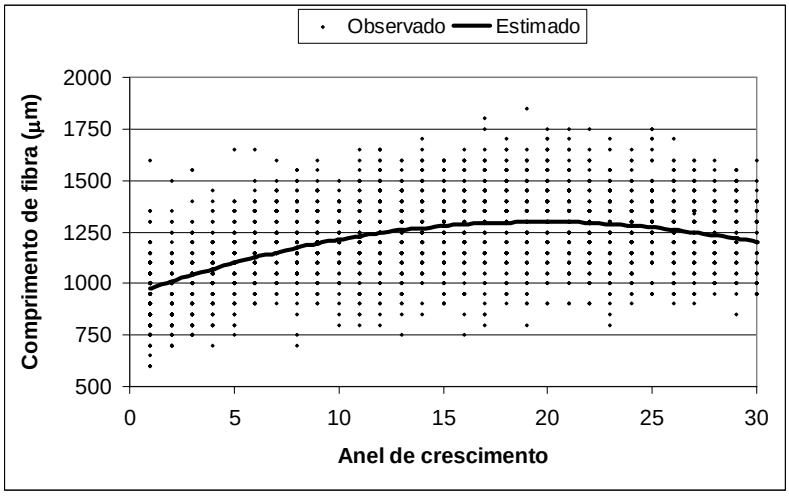


Figura 20 - Variação do comprimento da fibra (μm) com a idade de formação do lenho para a madeira de *Carya illinoinensis*.

A Figura 21 mostra que o ano de segregação é de aproximadamente 16 anos de idade para as árvores estudadas. Assim como para o açoita-cavalo, as demais características anatômicas (diâmetro das fibras, dimensão do lúmen e espessura da parede celular) não se mostraram adequadas para a segregação dos dois tipos de lenho, motivo pelo qual são apresentados apenas as equações ajustadas (Tabelas 14 e 15).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) Comprimento =1000,24 + 18,2771*anel	26	175	622	<0,0001
b) Comprimento =1371,06 - 4,33716*anel	1	180	13	0,0004

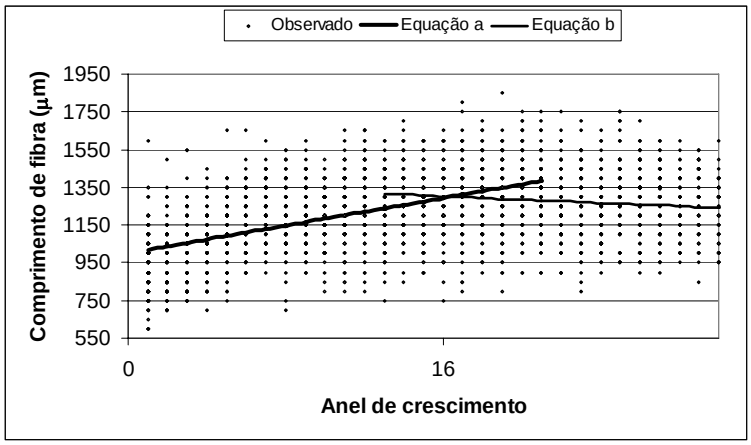


Figura 21 - Idade de segregação do lenho juvenil e adulto em razão do comprimento da fibra para a madeira de *Carya illinoinensis*.

Tabela 14 - Equações ajustadas para estimar o diâmetro das fibras, a largura do lúmen e a espessura de parede (µm) para madeira de *Carya illinoinensis*.

Equação	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
Diâmetro = 16,6807 + 0,0437764*anel	2	2,4	67	<0,0001
Lúmen = 7,98146+0,0134916*anel + 0,555084* 1/anel^2	1	2,2	4	0,0122
Parede =4,15959+0,0417454*anel-0,000769039* anel^2	3	0,94	44	<0,0001

Tabela 15 - Equações ajustadas para definição da idade de segregação do lenho juvenil e adulto em razão do diâmetro da fibra, largura do lúmen, espessura da parede celular (µm) para a madeira de *Carya illinoinensis*.

Equação	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) Diâmetro = 16,6295 + 0,0530796*anel	1	2	12	0,0005
b) Diâmetro = 16,4774 + 0,0517207*anel	1	2,4	10	0,0017
a) Lúmen = 7,46528 + 0,125*anel	2	2,07	14	0,0193
b) Lúmen = 6,62097 + 0,0674539*anel	0,55	2,25	5	0,0323
a) Parede = 4,13737 + 0,0455983*anel	2	0,99	14	0,0002
b) Parede = 4,629	-	0,2	-	<0,0001

De maneira geral, os resultados da variação das características anatômicas estudadas da madeira de nogueira-pecã podem ser resumidos da seguinte maneira:

– As fibras apresentaram acréscimo de suas dimensões (comprimento e espessura da parede celular) nos primeiros anos de vida, seguida de estabilização.

– Não foi observado comportamento claro para o diâmetro, a espessura da parede celular e o lúmen das fibras, impossibilitando a definição do ano de segregação com base nestas características anatômicas.

– A segregação entre lenho juvenil e adulto da madeira de nogueira-pecã pode ser feita pelo comprimento das fibras. Através desta variável, o ano de segregação definido pela análise gráfica e pelas regressões foi de 16 anos;

– A idade de segregação definida pelas características anatômicas para a madeira de nogueira-pecã ficou dentro da faixa (5º ao 20º anel de crescimento) descrita para outras espécies já pesquisadas (MUÑIZ, 1993; BENTSEN, 1978).

Plátano

As Figuras 22 e 23 transcrevem a variação do comprimento da fibra com a idade de formação do lenho para madeira de plátano.

Observa-se, na Figura 22, que, até o 14º ano de vida da árvore ocorre um aumento no comprimento da fibra, seguida de estabilização e diminuição a partir do 20º ano até a idade em estudo. Porém, o comprimento das fibras dos últimos anéis de crescimento ainda são superiores aos dos primeiros anéis. Assim, a variação radial do comprimento de fibra para a madeira de plátano, passa de muito curto (750 – 1000 μm) próximo a medula a extremante longos (>2000 μm) a medida que se distanciam da medula.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
Comprimento=1246,67+77,0673*anel-2,2697*anel^2	32	248	501	<0,0001

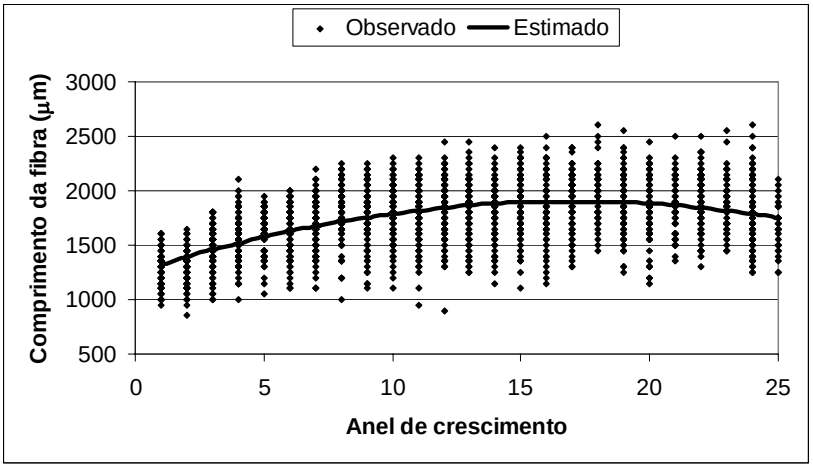


Figura 22 - Variação do comprimento da fibra com a idade de formação do lenho da madeira de *Platanus x acerifolia*.

A idade de segregação encontrada para o comprimento das fibras, foi de 14 anos (Figura 23).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) Comprimento = 1344,96 + 42,1538*anel	33	244	612	<0,0001
b) Comprimento = 2062,28 - 9,99406*anel	1	265	8	0,0045

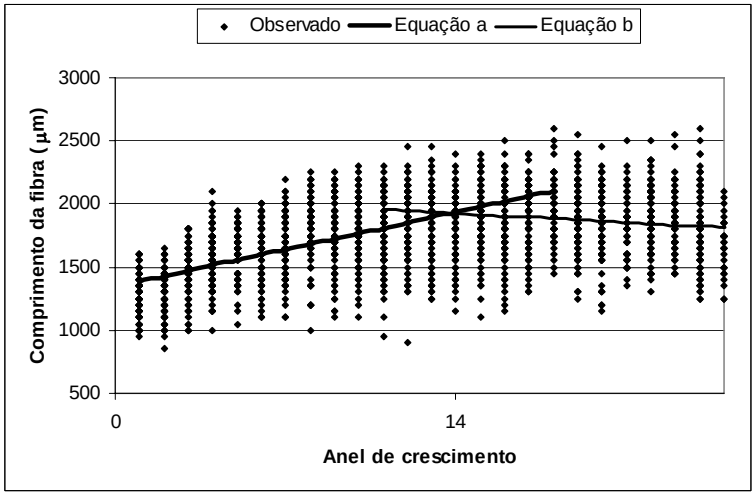


Figura 23 - Idade de segregação do lenho juvenil e adulto em razão do comprimento da fibra da madeira de *Platanus x acerifolia*.

Da mesma forma que para as duas espécies anteriores, as características anatômicas, diâmetro de fibras e lúmen assim como a espessura da parece celular não se mostraram

adequadas para a definição da passagem do lenho juvenil para adulto. As Tabelas 16 e 17 demonstram esse fato.

Tabela 16 - Equações ajustadas para estimar o diâmetro das fibras, a largura do lúmen e a espessura de parede (μm) para madeira de *Platanus x acerifolia*.

Equação	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
Diâmetro = 20,1442 + 0,68591* anel - 0,0203622* anel^2	13	4	152	<0,0001
Lúmen = 9,19788 - 0,00469922* anel^2	8	2,9	185	<0,0001
Parede = 5,5255+ 0,332159*anel - 0,0074286* anel^2	32	1,5	505	<0,0001

Como se observa, com exceção para a espessura da parede celular, existe pouca relação entre as variáveis anatômicas e a idade. Em decorrência disso, o uso desses parâmetros para a segregação é impreciso, como pode ser visto pelas estatísticas apresentadas na Tabela 15.

Tabela 17 - Equações testadas para definição da idade de segregação do lenho juvenil e adulto em função do diâmetro da fibra, largura do lúmen, espessura da parede celular (μm) para a madeira de *Platanus x acerifolia*.

Equação	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) Diâmetro = 20,8138 + 0,417949*anel	16	3,9	235	<0,0001
b) Diâmetro = 25,23 (constante)	-	-	-	-
a) Lúmen = 9,06 (constante)	-	-	-	-
b) Lúmen = 10,6011 - 0,17084*anel	8	2,8	113	<0,0001
a) Parede = 5,78388 + 0,228419*anel	28	1,5	495	<0,0001
b) Parede = 8,65 (constante)	-	-	-	-

De maneira geral, os resultados da variação das características anatômicas estudadas da madeira de plátano podem ser resumidos da seguinte forma:

– As fibras apresentaram aumento de suas dimensões (comprimento, diâmetro e espessura da parede celular) nos primeiros anos de vida, seguida de uma estabilização. Um posterior decréscimo, nos últimos anos, foi verificado apenas para espessura de parede. Já a largura do lúmen, mostrou-se dimensão estável nos primeiros anéis de crescimento, seguida de diminuição no diâmetro.

– A segregação entre lenho juvenil e adulto da madeira de plátano pode ser feita pelo comprimento das fibras. A análise gráfica e das regressões determina a passagem de um tipo de lenho para outro na idade aproximada de 14 anos.

– A idade de segregação definida pelo comprimento das fibras da madeira de plátano ficou dentro da faixa de segregação (5^{o} ao 20^{o} anel de crescimento) descrita para outras espécies pesquisadas (MUÑIZ, 1993; BENTSEN, 1978).

De maneira geral, considerando as três espécies, os estudos anatômicos demonstraram a variação radial no comprimento, diâmetro, diâmetro do lúmen e espessura de parede das fibras. Tal variação, influenciada pela idade real do tecido cambial, forma zonas distintas de dimensões de fibras da madeira de açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano, percebidas no corte transversal das árvores, dependendo da posição radial do tronco. Essa variação também foi percebida por outros pesquisadores, em outras espécies florestais (COWN, 1980; SANIO, 1972).

Nos estudos de segregação, utilizando-se das características anatômicas, a idade mais provável de passagem do lenho juvenil para adulto pode ser claramente definido pelo comprimento das fibras. Essa característica anatômica foi a que apresentou-se mais adequada para demonstrar a variação radial da madeira. As demais características anatômicas, ou não são influenciadas pela idade, ou apresentam uma diferenciação dimensional mais lenta e gradual, como também o afirmam Muñiz (1993) e Bendtsen (1978).

4.4.2 Variação da massa específica básica

A massa específica básica de uma espécie é o resultado de diversos fatores ambientais que se concretizam em estruturas anatômicas específicas, explicados, em alguns casos, pelo crescimento e produção hormonal (LARSON, 1973), manifestando-se, em última instância, nas dimensões das fibras ou traqueídeos.

Diferente das características anatômicas (nas quais foram usadas três árvores), a segregação pela massa específica foi realizada, utilizando-se cinco árvores de cada espécie para cada uma das Regiões em estudo.

Açoita-cavalo

Observa-se, na Figura 24, a variação da massa específica básica da madeira de açoita-cavalo no sentido medula-casca, para a região da Depressão Central.

A massa específica básica cresce partindo da medula até, aproximadamente, 12 cm. De 12 a 18 cm, observa-se uma estabilidade e, desse ponto em diante decresce constantemente, em direção à casca.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
ME = 0,481423+0,00619995*posição-0,00020253* posição^2	12	0,03	14	<0,0001

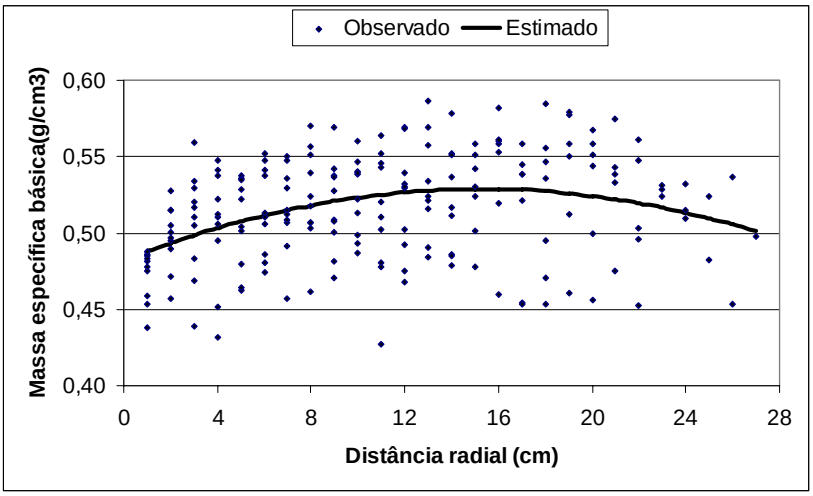


Figura 24 - Variação da massa específica básica da madeira de *Luehea divaricata* no sentido medula-casca para a região da Depressão Central. Dados referentes às cinco árvores analisadas.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,483472 + 0,00475*posição	14	0,03	16	0,0002
b) ME = 0,5265	-	0,01	-	

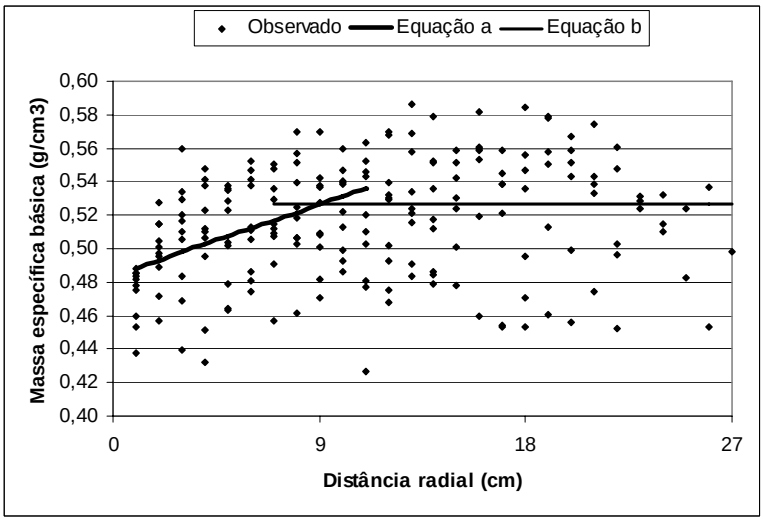


Figura 25 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica para região da Depressão Central para a madeira de *Luehea divaricata*. Dados referentes às cinco árvores analisadas.

Na Figura 25, observa-se que a distância de segregação ocorre partindo de 9 cm distante da medula, o que corresponde à idade de segregação de 26 anos. Essa idade está um pouco acima da já encontrada para a espécie quando observado comprimento das fibras (21 anos) para a região da Encosta Superior do Nordeste. Entretanto, a massa específica básica pode ser influenciada por diversos fatores, entre eles o próprio comprimento da fibra, taxa de crescimento da árvore, etc. Como a passagem do lenho juvenil para o adulto se dá de forma gradual, pode-se supor que a faixa de segregação para a espécie varia de 21 a 26 anos.

Já para a região da Encosta Superior do Nordeste, Figura 26, a variação da massa específica básica da madeira de açoita-cavalo, no sentido medula-casca, teve aumento até um raio de 12 cm. Partindo daí, uma pequena estabilização decrescendo de 18 cm em direção à casca.

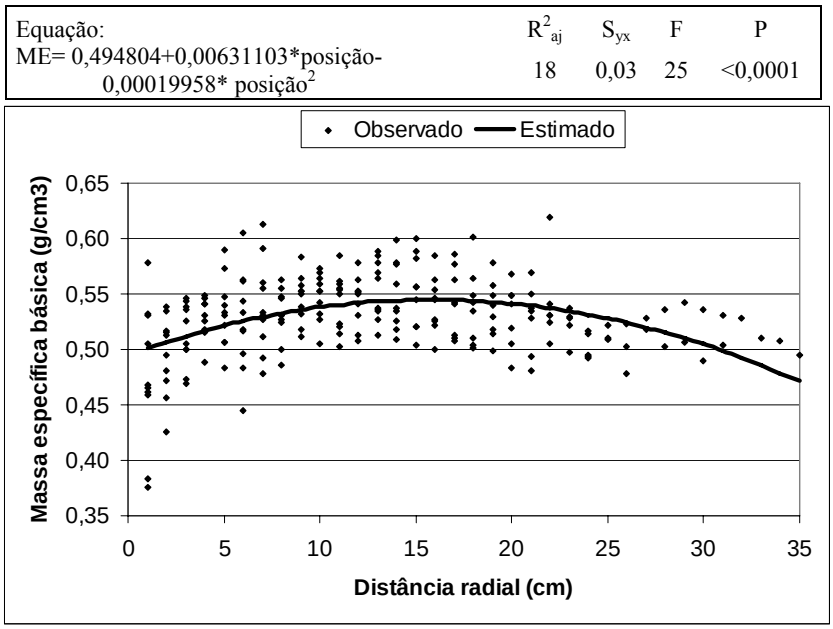


Figura 26 - Massa especifica básica da madeira de *Luehea divaricata* no sentido medula-casca para a região da Encosta Superior do Nordeste. Dados referentes às cinco árvores analisadas.

A distância de segregação foi de, aproximadamente, 9,5 cm da medula, o que corresponde a 23 anos (Figura 27). Essa idade ficou dentro da faixa de segregação encontrada para a espécie pelas características anatômicas.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,484778 + 0,0072*posição	20	0,04	23	<0,0001
b) ME = 0,572704 - 0,00201695*posição	15	0,03	24	<0,0001

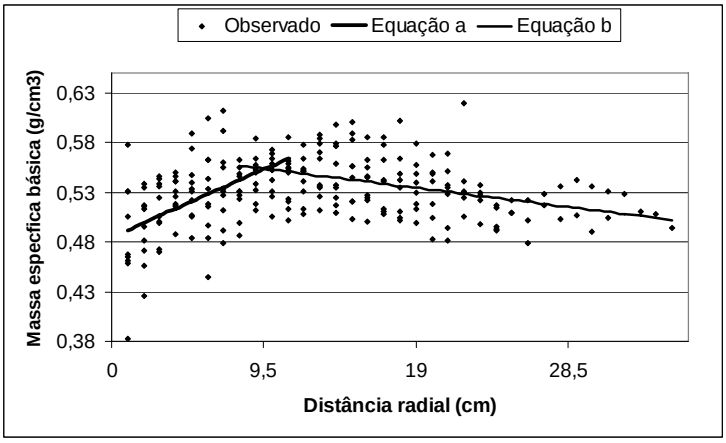


Figura 27 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica para região da Encosta Superior do Nordeste para madeira de *Luehea divaricata*. Dados referentes às cinco árvores analisadas.

Quando as árvores foram analisadas em conjunto sem considerar a Região fisiográficas de procedência, a massa específica básica apresenta um aumento até, aproximadamente, 11 cm partindo da medula, uma pequena estabilização até 20 cm, seguida de um decréscimo partindo desse ponto em diante (Figura 28).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
ME=0,489074+0,00596994*posição-0,00018599*posição^2	14	0,03	35	<0,0001

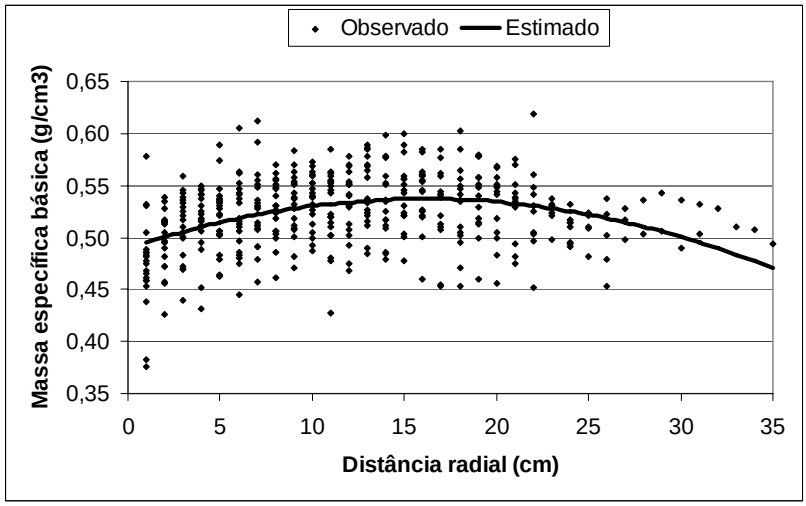


Figura 28 - Variação da massa específica básica da madeira de *Luehea divaricata* no sentido medula-casca para as duas Regiões fisiográficas. Dados referentes às dez árvores analisadas.

A distância de segregação ocorreu próximo aos 9,5 cm da medula (Figura 29), que corresponde ao 26º anel de crescimento, um pouco acima da idade de segregação definida pelas dimensões das fibras.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,484125 + 0,005975*posição	17	0,03	37	<0,0001
b) ME = 0,55361 - 0,00132293*posição	4	0,03	10	0,0016

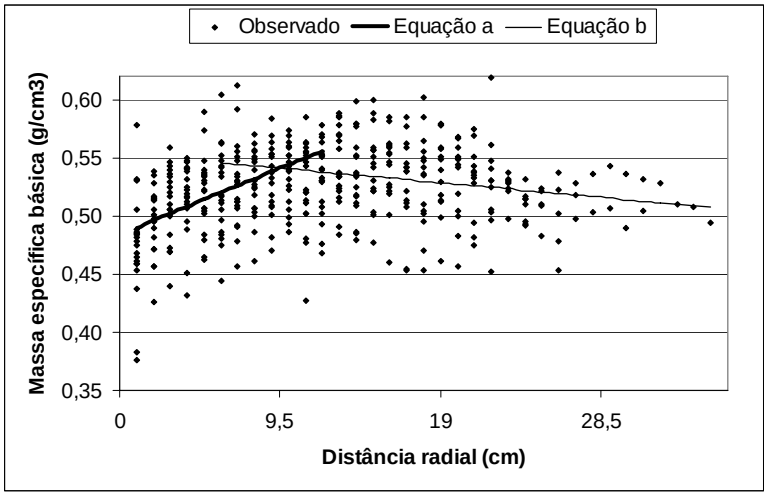


Figura 29 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica da madeira de *Luehea divaricata* para as Regiões fisiográficas.

Nogueira-pecã

Observa-se, na Figura 30, a variação da massa específica básica da madeira de nogueira-pecã no sentido medula-casca para a região da Depressão Central.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
ME=0,553247+0,002263*posição-0,000051713* Posição^2	9	0,02	10	<0,0001

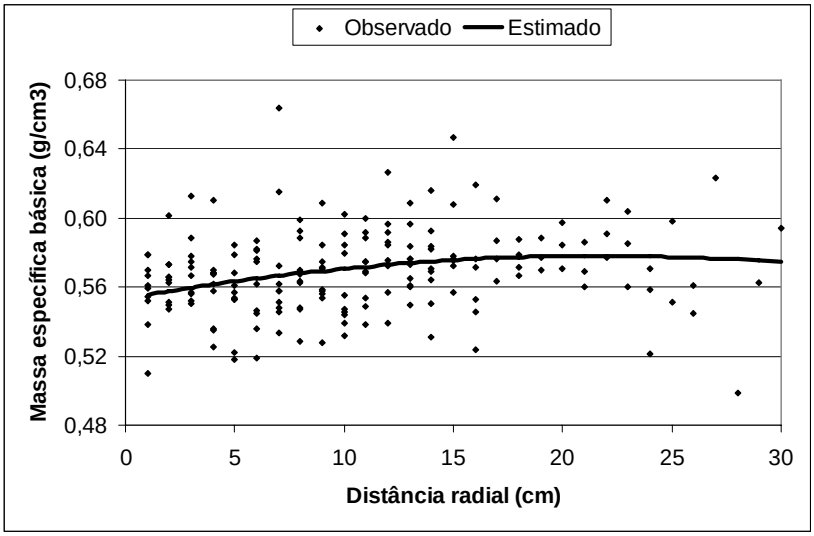


Figura 30 - Variação da massa específica básica para a madeira de *Carya illinoinensis* no sentido medula-casca para a região da Depressão Central.

A massa específica básica, cresce partindo da medula até, aproximadamente, 14 cm e estabiliza-se até o raio estudado para a espécie.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,555474 + 0,00139466*posição	6	0,02	10	0,0019
b) ME = 5775	-	-	-	-

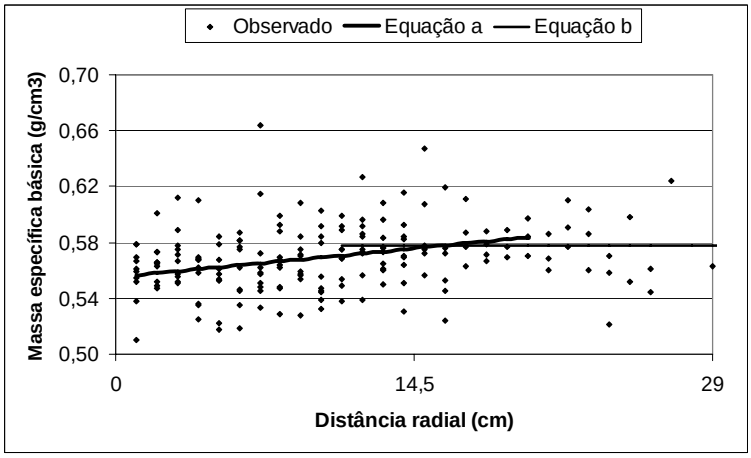


Figura 31 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica da madeira de *Carya illinoinensis* para região da Depressão Central.

Na Figura 31, observa-se que a distância de segregação ocorre aos 14,5 cm da medula, o que corresponde à idade de 13 anos. Essa idade limite de produção do lenho juvenil é próxima

à encontrada para a espécie, quando se considerou o critério comprimento de fibras (16 anos) para a segregação.

Já para a região da Encosta Superior do Nordeste, observa-se (Figura 32) a massa específica cresce partindo da medula até, aproximadamente, 12 cm onde se estabiliza. De 23 cm em diante decresce, fortemente, até atingir a casca. Por outro lado, há dois comportamentos distintos a partir dos 30 cm; este fato se explica pela variação da massa específica da amostra "A" diferente da amostra "B" (Figura 9, Materiais e Métodos) para as árvores com raio superior a 30 cm. Da mesma forma, a grande variação dos dados coletados e o baixo coeficiente de determinação se deve ao mesmo motivo.

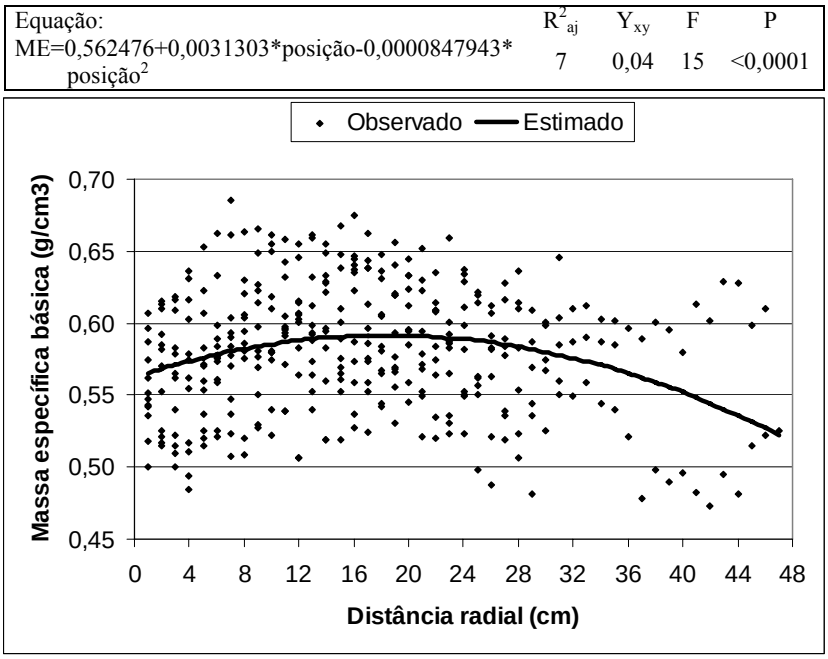


Figura 32 - Variação da massa específica básica para madeira de *Carya illinoinensis* no sentido medula-casca para a região da Encosta Superior do Nordeste.

Na Figura 33, observa-se que a distância de segregação ocorre no 12º cm da medula, que corresponde à idade de segregação de 11 anos. Essa idade também é relativamente próxima à encontrada pela análise do comprimento das fibras (16 anos).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,549884 + 0,00459722*posição	7	0,04	9	0,0043
b) ME = 0,619751 - 0,00158254*posição	10	0,04	26	<0,0001

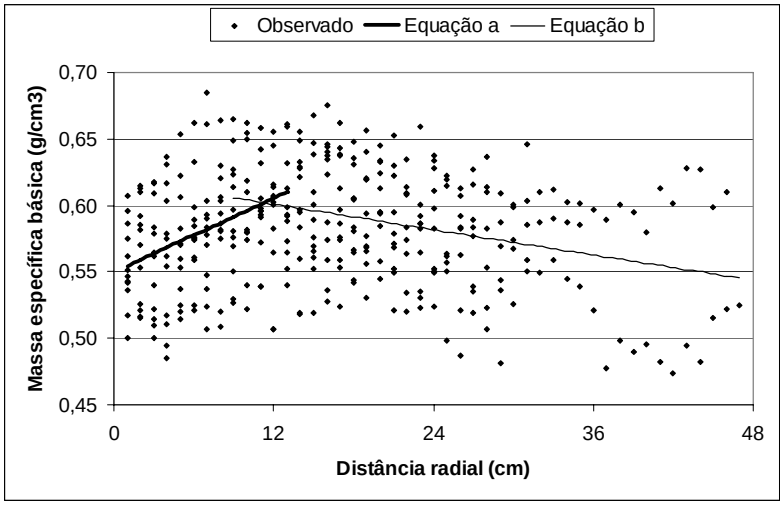


Figura 33 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica da madeira de *Carya illinoinensis* para região da Encosta Superior do Nordeste.

Quando observadas em conjunto, sem considerar as duas Regiões fisiográficas, a massa específica básica das árvores mostra um acréscimo até, aproximadamente, 10 cm da medula, seguida de uma pequena estabilização até 25 cm, e de um decréscimo partindo desse ponto (Figura 34).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
ME=0,557956+0,00287999*posição-0,000074953*posição^2	6	0,04	18	<0,0001

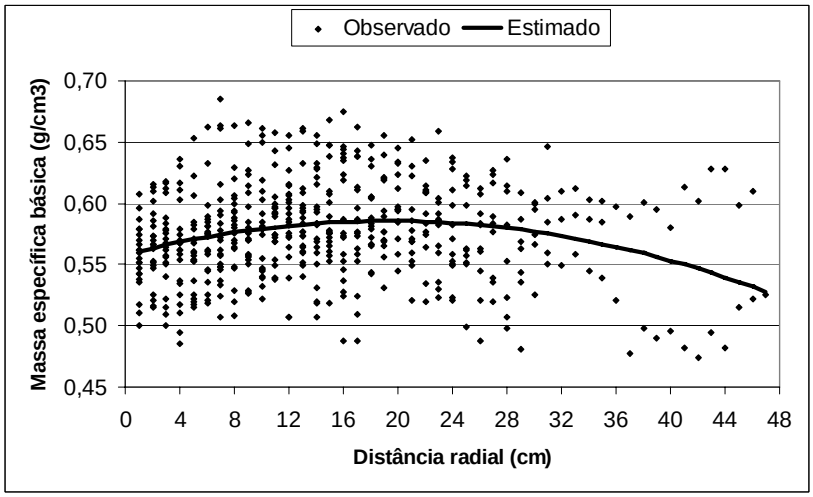


Figura 34 - Variação da massa específica básica para madeira de da madeira de *Carya illinoinensis* no sentido medula-casca para as Regiões fisiográficas.

Considerando todas as árvores em conjunto, a distância de segregação ocorreu próximo aos 13 cm da medula o que corresponde ao 12º anel de crescimento (Figura 35).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,553712 + 0,00287133*posição	4	0,03	9	0,0031
b) ME = 0,606841 - 0,00117032*posição	6	0,04	21	<0,0001

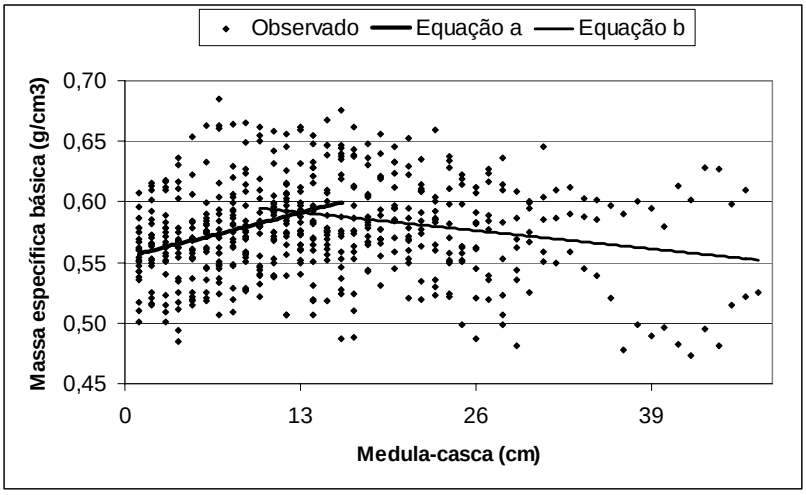


Figura 35 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica da madeira de da madeira de *Carya illinoinensis* para as duas Regiões fisiográficas.

Plátano

Observa-se, na Figura 36, a variação da massa específica básica da madeira de plátano no sentido medula-casca para a região da Depressão Central. A massa específica básica das árvores mostra um acréscimo até, aproximadamente, 18 cm da medula, seguida de uma pequena estabilização até 28 cm, e de um decréscimo partindo desse ponto.

Na Figura 37, observa-se que a distância de segregação ocorre em 11 cm da medula, que corresponde à idade de segregação de 12 anos. Essa idade está um pouco abaixo da já encontrada para a espécie quando observado comprimento das fibras (14 anos) para a Encosta Superior do Nordeste. No entanto, mesmo sendo de diferentes Regiões e diferentes metodologias, a passagem do lenho juvenil para o adulto para a espécie pode estar nesta faixa.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
ME=0,549476+0,00650048*posição-0,0001259* posição^2	36	0,03	62	<0,0001

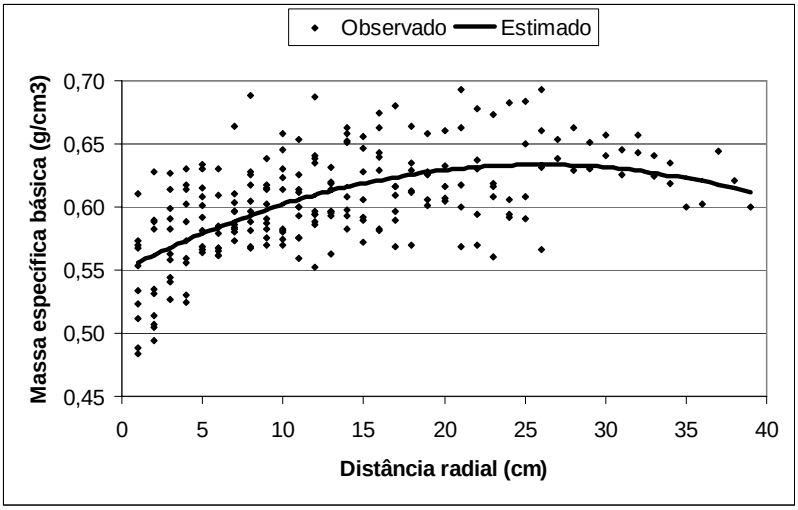


Figura 36 - Variação da massa específica básica para madeira de espécie *Platanus x acerifolia* no sentido medula-casca para a região da Depressão Central.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,540611 + 0,0079*posição	27	0,03	33	<0,0001
b) ME = 0,625395	-	-	-	-

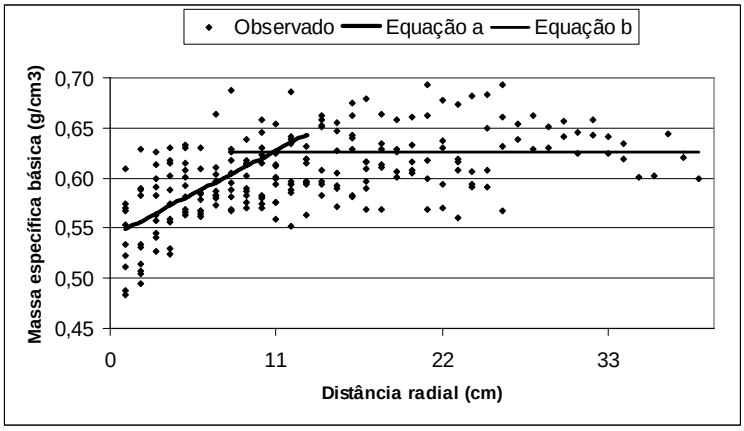


Figura 37 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica da madeira de *Platanus x acerifolia* para região da Depressão Central.

Observa-se, na Figura 38, a variação da massa específica básica para madeira de plátano no sentido medula casca para a região da Encosta Superior do Nordeste. A massa específica básica mostra um acréscimo até, aproximadamente, 20 cm da medula seguida de um decréscimo partindo deste ponto.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
ME=0,537209+0,00789*posição-0,00019221*posição^2	43	0,03	97	<0,0001

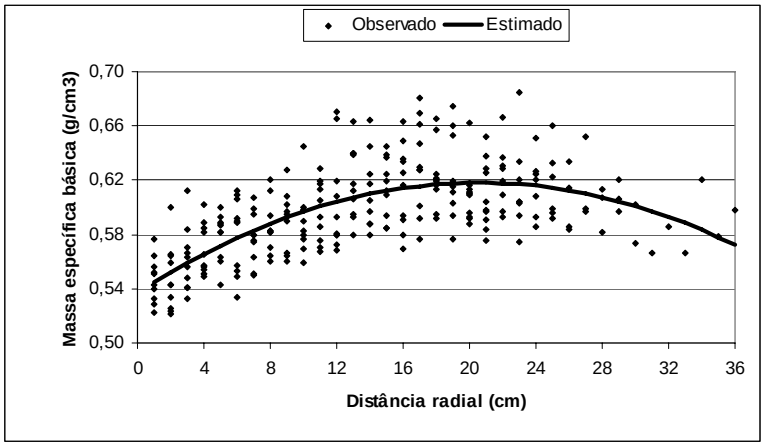


Figura 38 - Variação da massa específica básica da madeira de *Platanus x acerifolia* no sentido medula-casca para a região da Encosta Superior do Nordeste.

A distância de segregação ocorre a 16 cm da medula, correspondendo ao 15º ano de idade da espécie (Figura 39). Praticamente não houve diferença com o ano de segregação (14 anos) definido para espécie quando utilizado a metodologia do comprimento da fibra.

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,545484 + 0,00483077*posição	37	0,03	80	<0,0001
b) ME = 0,65255 - 0,00173827*posição	8	0,03	10	0,0016

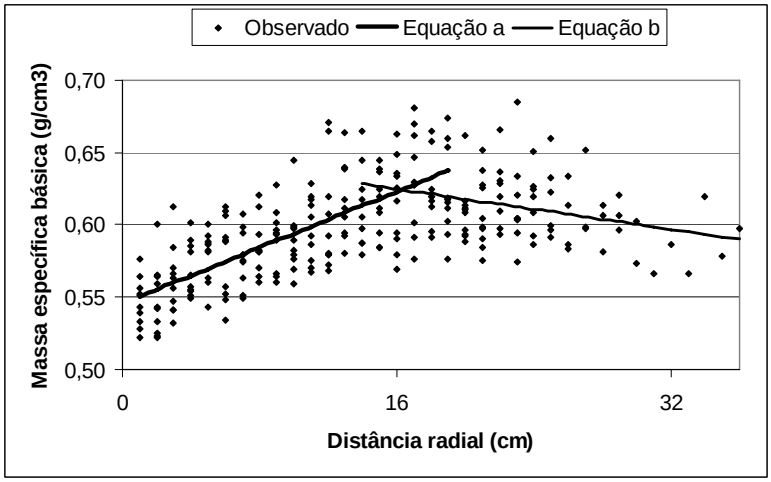


Figura 39 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica da madeira de *Platanus x acerifolia* para região da Encosta Superior do Nordeste.

Quando observadas em conjunto, sem considerar as duas Regiões, a massa específica básica das árvores mostra um acréscimo até, aproximadamente, 20 cm da medula, seguida de uma pequena estabilização até 26 cm, seguida de um decréscimo partindo desse ponto (Figura 40).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
ME=0,545494+0,0067022*posição-0,00014231*posição^2	36	0,03	138	<0,0001

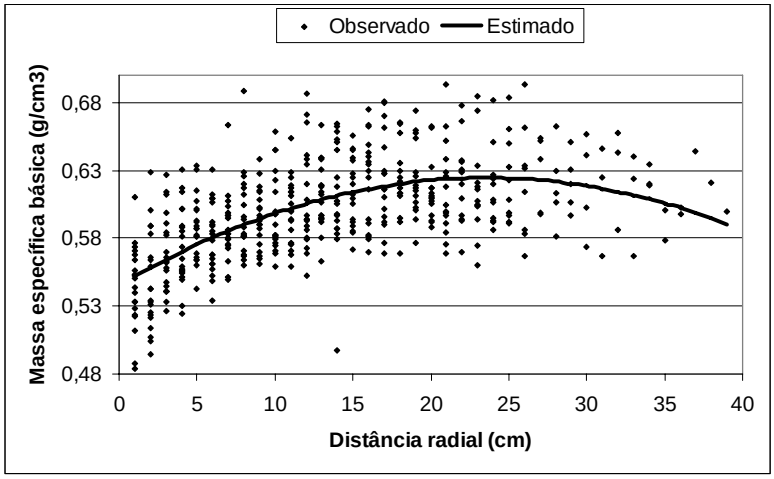


Figura 40 - Variação da massa específica básica da madeira de *Platanus x acerifolia* no sentido medula-casca para as Regiões fisiográficas.

Considerando todas as árvores em conjunto, a distância de segregação ocorreu próximo aos 11 cm da medula o que corresponde ao 12º anel de crescimento (Figura 41).

Equação:	R^2_{aj}	S_{yx}	F	P
a) ME = 0,541819 + 0,00665833*posição	26	0,03	65	<0,0001
b) ME = 0,612029	-	-	-	-

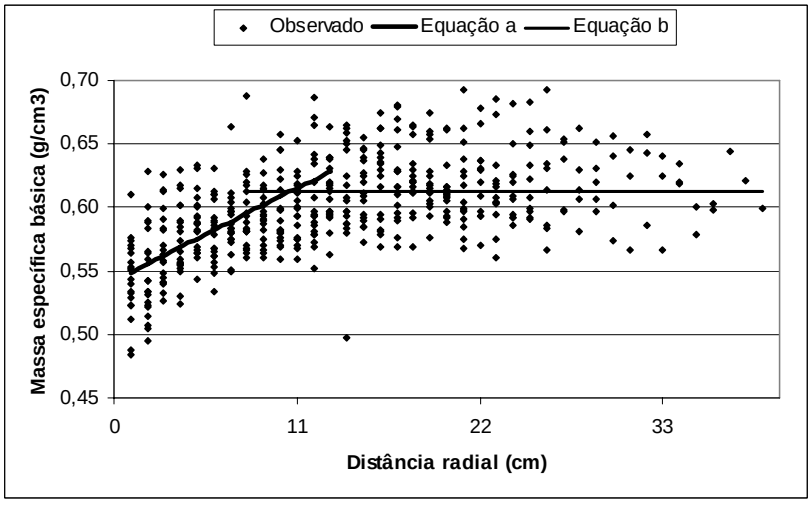


Figura 41 - Distância de segregação do lenho juvenil e adulto em razão da massa específica básica da madeira de *Platanus x acerifolia* para as Regiões fisiográficas.

Dentre os parâmetros empregados para analisar a qualidade da madeira, a massa especifica tem merecido atenção especial por parte dos pesquisadores em decorrência de sua íntima relação com algumas características tecnológicas e econômicas importantes. De

maneira geral, os resultados da variação radial da massa específica básica da madeira deste estudo podem ser assim resumidos:

– A massa específica básica para a madeira de açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano, aumenta nos primeiros anéis de crescimento, seguida de uma estabilização e um posterior decréscimo nos últimos anos de crescimento. Como a massa específica é um somatório das características anatômicas, explica-se, em parte, a semelhança do comportamento entre as espécies (VORREITER, 1949).

– Da mesma forma, há um aumento da massa específica acompanhado do aumento do comprimento da fibra da região próxima à medula em direção a casca para a maioria das espécies estudadas. No entanto, necessita-se de um estudo mais apropriado para estabelecer esta relação.

– A variação da massa específica, no sentido medula-casca, é um bom parâmetro para a separação do lenho juvenil e adulto. Todavia, o ano de segregação definido pela variação do comprimento da fibra parece ser mais correto, pois esta propriedade é menos influenciada que a massa específica básica por fatores externos.

– A segregação do lenho juvenil e adulto, pela variação da massa específica no sentido medula-casca para as espécies açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano definida pela análise gráfica e das regressões, foi de respectivamente, 26, 13, e 12 anos para região da Depressão Central e 23, 11 e 15 anos para a região da Encosta Superior do Nordeste.

4.4.3 Avaliação dos métodos de segregação dos lenhos juvenil-adulto e comparação entre as Regiões.

Na análise da segregação de lenho juvenil/adulto, foram usados dois métodos: as características anatômicas (comprimento, diâmetro, largura do lúmen e espessura de parede das fibras) da madeira e da massa específica básica. Para os dois métodos foi utilizado, primeiramente, o conjunto de árvores para cada espécie e Região e, posteriormente utilizada a segregação através dos dados das árvores individuais. Como a metodologia utilizada para as características anatômicas (diâmetro, largura do lúmen e espessura da parede das fibras) mostrou-se inadequadas, nesta seção será apenas discutida a segregação realizada pelo comprimento de fibras.

Observa-se, na Tabela 18, a idade de segregação dos dois tipos de lenho para as três espécies procedentes das duas Regiões fisiográficas, pela variação da massa específica básica e pelo comprimento das fibras, no sentido medula-casca.

Tabela 18 - Idade de segregação para às espécies estudadas através da massa específica básica para o conjunto de cinco árvores por espécie e por Região fisiográfica, e através do comprimento das fibras para o conjunto de três árvores por espécie para a região da Encosta Superior do Nordeste.

Espécie	Região	Ano de Segregação	
		Massa específica básica	Comprimento de fibra
Açoita-cavalo	Depressão Central	26	
	Encosta Superior do Nordeste	23	21
Nogueira-pecã	Depressão Central	13	
	Encosta Superior do Nordeste	11	16
Plátano	Depressão Central	12	
	Encosta Superior do Nordeste	15	14

Pode-se observar uma pequena variação no ano de segregação definido pela variação radial do comprimento de fibra e da massa específica básica, variando de 21 a 26 anos para açoita-cavalo, de 11 a 16 anos para nogueira-pecã e de 12 a 15 anos para plátano, considerando separadamente cada Região fisiográfica de coleta de material.

A Tabela 18 mostra que, para a madeira oriunda da Encosta Superior do Nordeste, a idade de segregação dos dois tipos de lenho difere um pouco em razão da metodologia usada para sua determinação (massa específica básica e comprimento de fibra).

Já na Tabela 19 pode-se observar o ano de segregação do lenho juvenil do adulto, pelo método comprimento das fibras e da massa específica básica para as árvores individuais de açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano na região da Encosta Superior do Nordeste e pelo método da massa específica básica para a Depressão Central.

Quando comparado o ano de segregação médio definido pelo comprimento das fibras no conjunto de árvores (Tabela 18) pelo definido pela média das árvores individuais (Tabela 19) observa-se a mesma média para as espécies açoita-cavalo e nogueira-pecã e uma pequena diferença, de apenas um ano para o ano de segregação médio da madeira de plátano. Já quando comparado ano de segregação definido pela massa específica básica das mesmas tabelas observa-se uma maior variação entre o ano médio de segregação para as espécies estudadas. Outros fatores externos como taxa de crescimento, podem estar influenciando nos resultados. Entretanto, como a segregação do lenho se dá de forma gradual os resultados médios podem representar uma faixa de ocorrência para a passagem do lenho juvenil ao adulto, conhecida como faixa de transição.

Tabela 19 - Ano de segregação do lenho juvenil a adulto, pelo comprimento de fibra e massa específica, para as arvores individuais das espécies estudadas na regiões da Depressão Central (1) e Encosta Superior do Nordeste (2).

Critério	Árvore	Açoita-cavalo		Nogueira-pecã		Plátano	
		1	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Comprimento da fibra	1		21		15		12
	2		19		17		12
	3		22		16		14
	Média		21		16		13
Massa específica	1	35	28	10	12	-	12
	2	19	18	14	12	-	15
	3	26	34	-	9	10	12
	4	26	26	10	11	11	14
	5	22	29	12	8	9	14
	Média	26	27	12	10	10	13

Devido a maior clareza da relação entre o comprimento de fibras e distância radial, adotou-se, como ano de segregação do lenho juvenil e adulto, aquele definido por esse critério sendo, respectivamente, 21, 16 e 14 anos para açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano.

Já para a avaliação das Regiões de estudo (Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste) em função da massa específica básica e comprimento das fibras, foram utilizados os anos de segregação da Tabela 19.

Tabela 20 - Análise de variância para o ano de segregação do lenho juvenil/adulto pelo método da massa específica básica para as espécies estudadas e regiões da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste.

Fontes de Variação	S.Q.	G.L	Q.M	F	P
Região	8,36915	1	8,36915	0,6	0,4565
Espécie	1399,44	2	699,719	48,0	<0,0001
Resíduo	335,495	23	14,5867		
Total	1734,96	26			

Dessa forma, entre as Regiões pesquisadas, quando avaliado o método de segregação pela massa específica básica, não houve diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade para o ano de maturação para as Regiões fisiográficas de estudo (Tabela 20). No entanto, há clara diferença entre o ano de segregação para a espécie açoita-cavalo, que

necessita de maior tempo para atingir a maturidade, e as espécies nogueira-pecã e plátano (Tabela 21).

Tabela 21 - Médias das idades de segregação dos lenhos das espécies estudadas pela massa específica básica para as duas Regiões fisiográficas.

Espécie	Amostras	Ano de segregação	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)
Açoita-cavalo	10	26,3[a]	1,2	23,8–28,8
Nogueira-pecã	9	10,8[b]	1,3	8,2–13,5
Plátano	8	12,0[b]	1,3	9,2–14,8

Letras diferentes demonstram diferenças estaticamente significativas ao nível de 95% de probabilidade pelo teste de significância de Fisher para as espécies.

Da mesma forma, quando avaliados os métodos de segregação (massa específica básica e comprimento das fibras) na região da Encosta Superior do Nordeste, não foram encontradas diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade para o ano de maturação (Tabela 22). Assim, pode-se concluir que o uso de qualquer das metodologias descreve o ano de segregação.

Tabela 22 - Análise de variância para o ano de segregação do lenho juvenil/adulto entre os métodos comprimento de fibra e massa específica básica para a região da Encosta Superior do Nordeste.

Fontes de Variação	S.Q.	G.L	Q.M	F	P
Método	2,025	1	2,025	0,14	0,7138
Espécie	754,333	2	377,167	25,78	<0,0001
Resíduo	292,6	20	14,63		
Total	1048,96	23			

4.4.4 Proporção de lenho juvenil

O ano de segregação é dependente da idade de maturação da madeira de uma espécie (MUÑIZ, 1993). No entanto, a proporção de cada lenho, dependerá do crescimento de cada árvore e da idade de corte da árvore (KELLISON, 1981). Por sua vez, o crescimento depende do sítio e práticas silviculturais como espaçamento, adubação, desrama, desbaste (SCHNEIDER, 1993). Dessa forma, quanto menor o crescimento nos primeiros anos e maior a dimensão e a idade de corte da árvore menor será sua proporção de lenho juvenil.

Com base na segregação do lenho juvenil e adulto, definidos pela variação radial do comprimento das fibras, respectivamente, 21, 16 e 14 anos para açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano e, em razão do diâmetro da base dos troncos do material estudado, definiu-se a proporção de lenho juvenil para árvores das regiões da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste.

Observa-se, na Tabela 23, a proporção de madeira juvenil encontrada em troncos das espécies açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano em razão do diâmetro na base da árvore.

Tabela 23 - Proporção de lenho juvenil (**Pj%**) em razão do diâmetro (D) na base das árvores com o diâmetro(d) de lenho juvenil para as espécies estudadas das duas Regiões fisiográficas.

Região	Árvore	**Açoita-cavalo**				**Nogueira-pecã**				**Plátano**			
		D (cm)	d (cm)	Idade (ano)	**Pj%**	D (cm)	d (cm)	Idade (ano)	**Pj%**	D (cm)	d (cm)	Idade (ano)	**Pj%**
Depressão Central	1	55,0	14,6	59	**26**	48,5	36,8	22	**76**	33,0	26,6	20	**81**
	2	32,0	15,0	41	**47**	50,5	26,8	22	**53**	27,0	21,7	18	**80**
	3	41,0	16,5	41	**40**	33,0	33,0	15	**100**	33,0	28,4	21	**86**
	4	53,0	14,9	62	**28**	32,5	32,5	15	**100**	49,0	28,2	27	**58**
	5	38,0	13,5	43	**36**	32,5	30,6	20	**94**	53,0	38,1	30	**72**
	$\overline{X}$	44,0	14,8	49	**35**	39,0	32,0	19	**85**	39,0	28,6	23	**75**
Encosta Sup. do Nordeste	1	44,5	17,2	54	**39**	65,0	36,6	29	**56**	43,5	28,5	24	**66**
	2	52,0	14,8	54	**28**	61,5	40,2	29	**65**	48,0	28,9	23	**60**
	3	50,0	16,0	53	**32**	85,5	44,8	40	**52**	50,0	31,9	25	**64**
	4	41,5	19,4	62	**47**	46,5	32,8	25	**71**	44,0	25,0	24	**57**
	5	53,5	14,1	54	**26**	50,0	37,4	26	**75**	49,5	31,7	24	**64**
	$\overline{X}$	48,0	16,3	55	**34**	62	38,4	30	**64**	47,0	29,2	24	**62**

Observa-se, na Tabela 24 e nas Figuras 42 e 43, os modelos de regressão e a distribuição da proporção de lenho juvenil (Pj%) em razão do diâmetro e idade das árvores de açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano.

Tabela 24 - Modelos de regressão para a distribuição da proporção de lenho juvenil ($Pj_{\%}$) em razão do diâmetro e idade das árvores das espécies estudadas.

Espécie	Equação	$R^2_{aj.}$	S_{yx}	F	P
Açoita-cavalo	$Pj_{\%}$ = 72,5822 - 0,762397*idade	60	4,4	14	0,0053
	$Pj_{\%}$ = 77,6924 - 0,932837*diâmetro	78	3,7	36	0,0002
Nogueira-pecã	$Pj_{\%}$ = 123,154 - 2,01412*idade	62	11	18	0,0023
	$Pj_{\%}$ = 122,199 - 0,949849*diâmetro	72	9,5	27	0,0006
Plátano	$Pj_{\%}$ = 143,892 - 3,26601*idade	61	6,6	15	0,0047
	$Pj_{\%}$ = 107,672 - 0,898487*diâmetro	54	6,8	13	0,0062

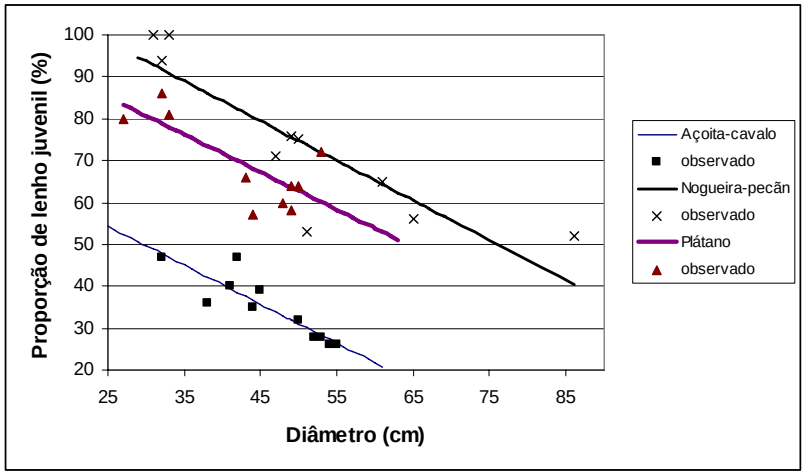


Figura 42 - Proporção de lenho juvenil em razão do diâmetro das árvores das espécies estudadas.

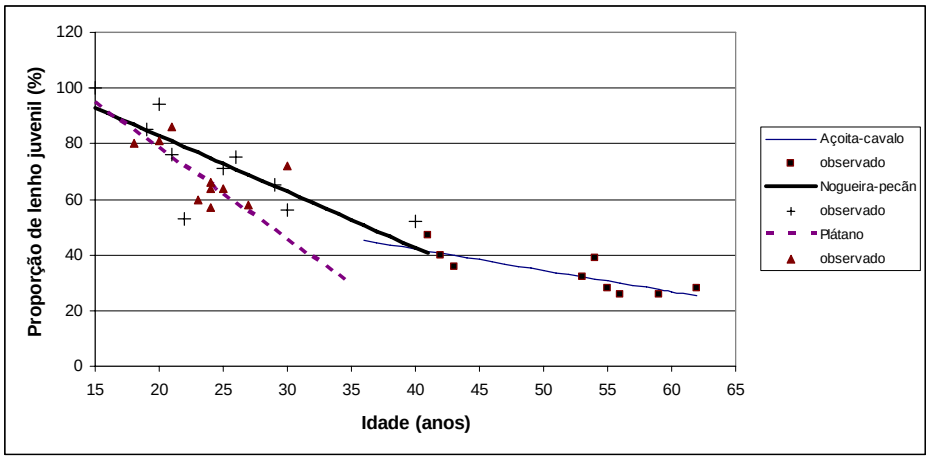


Figura 43 - Proporção de lenho juvenil em razão da idade das árvores das espécies estudadas.

Observa-se, nas Figuras 43 e 44, que a proporção de lenho juvenil decresce à medida que aumentam o diâmetro e a idade das árvores de açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano.

As proporções de madeira juvenil, com exceção da madeira de açoita-cavalo, podem ser consideradas altas para as espécies pesquisadas. Dessa forma, se o objetivo é utilizar madeira

de lenho adulto, descrito na literatura como madeira de melhor qualidade (KOLLMANN, 1951; BIBLIS, 1990; McALISTER e POWERS Jr., 1992), se deve optar por ciclos mais longos e práticas silviculturais que diminuam a proporção de lenho juvenil.

4.5 Processo de vergamento laboratorial

4.5.1 Confecção da máquina de vergamento

Para um bom vergamento, segundo Kollmann (1951) e Vorreiter (1958), seria necessário que a máquina de vergamento fosse provida de cinta de flexão, e que a peça em serviço estivesse submetida à compressão longitudinal e transversal. A compressão transversal à peça de madeira é dada pelo cilindro. Já a compressão longitudinal à peça de madeira é dada pelo apoio em uma extremidade e por um aparato de pressão (mola, pistão, etc.) na outra extremidade da peça de madeira. Assim, a compressão longitudinal foi o principal problema enfrentado na confecção da máquina de vergamento. Para conseguir pressionar a amostra foi testada a compressão por parafuso, mola e sem restrição (compressão longitudinal).

A compressão por parafuso funciona muito bem até o vergamento ao redor de 25% do comprimento da peça. Partindo desse ponto, a peça aumenta seu comprimento (± 5%), sofre torcimento e curva-se lateralmente, terminando por flambar. Para contornar o problema, testou-se uma compressão variável, exercida por uma mola posicionada no local do parafuso. Tal operação não teve pleno sucesso em conseqüência da dificuldade de fixação da mola e pela heterogeneidade da pressão exercida. No entanto, quando a mola, ocasionalmente, permaneceu no local, foi possível a obtenção de peças boas. Talvez uma solução para o problema seria a utilização de um pistão de ar comprimido, que daria pressão homogênea à peça de madeira. Porém, maiores estudos seriam necessários para ver da viabilidade de utilização deste aparato. Dessa forma, e após vários testes, optou-se pela ausência de restrição longitudinal, o que, para fins de comparação entre os tratamentos, não compromete os resultados.

4.5.2 Características dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram preparados e selecionados de maneira a evitar a presença de defeitos e material heterogêneo nos tratamentos, o que não foi possível em todos os casos. Dessa forma, algumas características como número de anéis de crescimento, proporção de lenho juvenil, teor de umidade médio (base seca) e massa específica básica a 12% de umidade são descritas neste item.

Observa-se na Tabela 25 que há diferenças significativas (ao nível de 95% de probabilidade) para o número de anéis de crescimento por polegada entre as espécies. Não ocorrendo diferenças para as médias da Região e tipo de lenho. Assim, as espécies não sofreram interferência da Região ou da maturidade das árvores na taxa de crescimento. É provável que a pequena diferença de manejo entre as Regiões contribuiu para homogeneizar o crescimento.

Tabela 25 - Análise de variância para o número de anéis de crescimento por polegada em razão da espécie, Região fisiográfica e tipo de lenho dos corpos-de-prova utilizados no vergamento.

Fontes de Variação	S.Q.	G.L	Q.M	F	P
Espécie	834,101	2	417,05	141,12	<0,0001
Lenho (juvenil/adulto)	5,41134	1	5,41134	1,83	0,1773
Região	0,909846	1	0,909846	0,31	0,5795
Resíduo	379,737	230			
Total	1525,59	234			

A madeira de açoita-cavalo apresentou um maior número médio de anéis de crescimento por polegada e um conseqüente menor crescimento anual das árvores (Tabela 26). Este menor crescimento pode estar relacionado a competição sofrida pela espécie no manejo nativo ou pelo próprio crescimento natural da espécie.

Tabela 26 - Número médio de anéis de crescimento por polegada em razão da espécie e dos corpos-de-prova utilizados no vergamento.

Espécies	Amostras	N. de anéis de crescimento/polegada	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)
Açoita-cavalo	76	7,3[a]	0,2	6,9–7,7
Nogueira-pecã	80	3,2[b]	0,2	2,8–3,6
Plátano	79	3,3[b]	0,2	2,9–3,7

Letras diferentes demonstram diferenças estaticamente significativas ao nível de 95% de probabilidade pelo método de significância de Fisher.

Nas Tabelas 27, e 28 pode-se observar que não há diferença estatística (ao nível de 95% de probabilidade) para a proporção de lenho inicial por polegada para a madeira de nogueira-pecã entre as regiões da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste e os lenhos juvenil e adulto.

Tabela 27 - Análise de variância para a proporção de lenho inicial por polegada para a madeira de *Carya illinoinensis* entre as regiões da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste e os lenhos juvenil e adulto.

Fonte de Variação	S.Q.	G.L	Q.M	F	P
Região	1,5091	1	1,5091	0,01	0,9133
Lenho (juvenil/adulto)	178,595	1	178,595	1,41	0,2383
Resíduo	9479,35	75	126,391		
Total	9658,72	77			

Tabela 28 - Estatísticas para proporção de lenho inicial por polegada para a madeira de *Carya illinoinensis* entre as regiões da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste e os lenhos juvenil e adulto.

Fonte de Variação		Amostras	Média (%)	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)
Região	Encosta Superior do Nordeste	40	50,1	1,78	47–54
	Depressão Central	38	51,1	1,82	47–55
Lenho	Juvenil	38	52,4	1,82	49–56
	Adulto	40	49,4	1,78	46–53

Os corpos-de-prova foram condicionados por pelo menos 12 meses em câmara climatizada, visando a equalizar o teor de umidade. Ao cabo desse período, obteve-se um teor de umidade base seca uniforme, ao redor de 14% (Tabela 29).

Tabela 29 - Teor de umidade médio (base seca) dos corpos-de-prova utilizados nos testes de vergamento.

Espécie	Teor de umidade médio (%)		
	Câmara climatizada	Após cozimento	Após vergamento e resfriamento
Açoita-cavalo	14 (3,56)	30 (21,05)	25 (20,43)
Nogueira-pecã	14 (2,33)	24 (7,19)	20 (7,02)
Plátano	13 (1,58)	29 (12,99)	23 (12,60)

Em que: valores ente parênteses referem-se ao coeficiente de variação em %

O teor de umidade da madeira, depois de 35 minutos de cozimento em água fervente, aumentou, respectivamente, 16%, 10% e 16%, para açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano, respectivamente, atingindo teores de umidade próximos ao ponto de saturação das fibras. O menor aumento do teor de umidade da madeira de nogueira-pecã deve-se, provavelmente, à sua maior massa específica (Tabela 31) que dificulta a penetração da água durante o cozimento. A massa específica também pode explicar a semelhança na absorção de umidade entre as madeiras de açoita-cavalo e plátano. A perda de umidade da madeira, após 1h30min de resfriamento na forma com o auxílio de ventilador comum, foi respectivamente, 5%, 4% e 6% de umidade para açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano.

Observa-se na Tabelas 30 e 31 que há diferenças significativas (ao nível de 95% de probabilidade) para a massa específica básica a 14% de umidade entre os corpos-de-prova testados no vergamento das espécies estudadas. Não ocorrendo diferenças para as médias da Região e tipo de lenho. Assim, as espécies não sofreram interferência da Região ou da maturidade das árvores na massa específica básica a 14% de umidade.

Tabela 30 - Análise de variância para a massa específica básica a 12% de umidade em razão da espécie, Região fisiográfica e tipo de lenho dos corpos-de-prova utilizados no vergamento.

Fontes de Variação	S.Q.	G.L	Q.M	F	P
Espécie	1,06582	2	0,532909	362	<0,0001
Lenho (juvenil/adulto)	0,00250246	1	0,00250246	2	0,1935
Região	0,00136479	1	0,00136479	1	0,3365
Resíduo	0,338425	230			
Total	1,41235	234			

Tabela 31 - Massa específica básica a 12% de umidade em razão da espécie e dos corpos-de-prova utilizados no vergamento.

Espécies	Amostras	Massa específica básica a 12%	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)
Açoita-cavalo	76	0,543[a]	0,004	0,534–0,551
Nogueira-pecã	80	0,706[c]	0,004	0,697–0,714
Plátano	79	0,604[b]	0,004	0,595–0,612

Letras diferentes demonstram diferenças estaticamente significativas ao nível de 95% de probabilidade.

4.5.3 Análise do vergamento

A qualificação do vergamento foi feita visualmente, observando-se a ausência ou presença de defeitos. Independentemente das espécies e procedência do material, os defeitos mais freqüentemente observados foram fendas transversais, estilhaço e ruptura perpendicular. Na Figura 44, encontram-se ilustrados alguns dos defeitos observados.

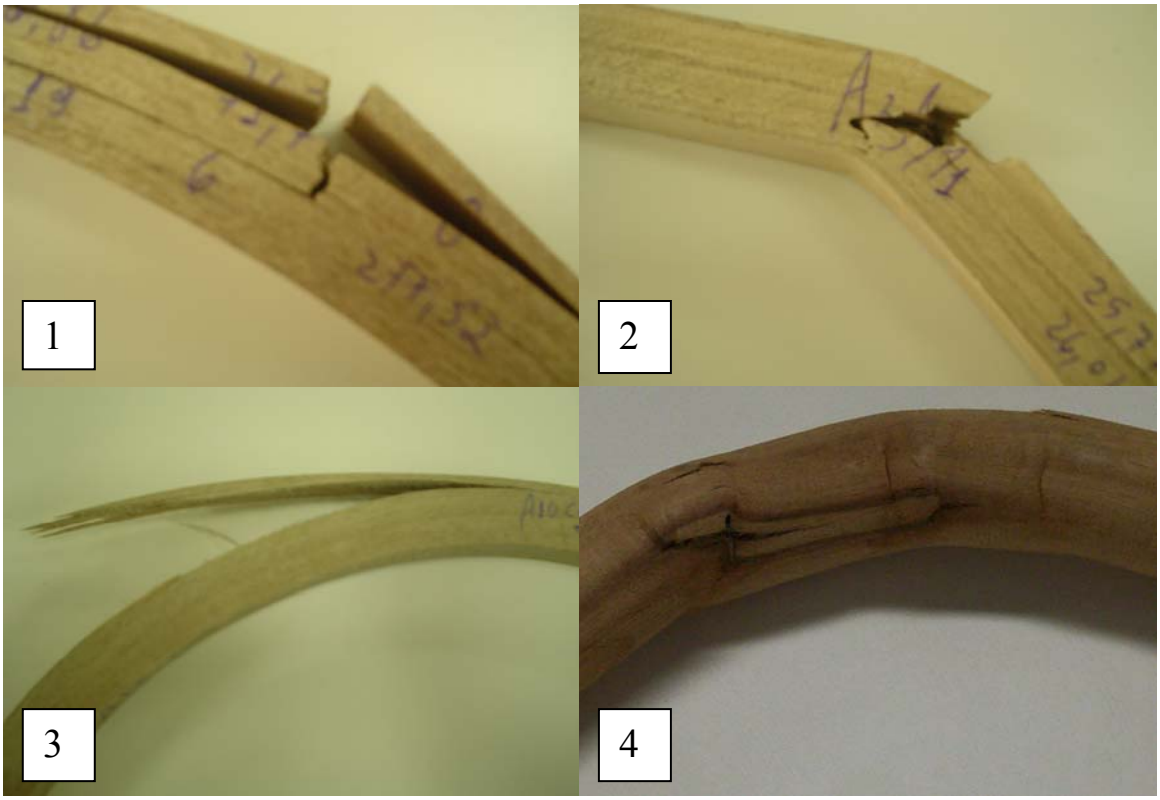


Figura 44 - Defeitos típicos do vergamento (1. fendas transversais; 2. ruptura perpendicular; 3. estilhaço; 4. esmagamento).

Nas Tabelas 32, 33, 34 e 35, observam-se os resultados qualitativos do vergamento da madeira das espécies, segregadas por tipo de lenho, raio de vergamento e Regiões em estudo.

A Tabela 32 reporta os dados de qualificação do vergamento para a madeira, provinda da Depressão Central, vergada a um raio de 21 cm.

Tabela 32 - Número de amostras sem e com defeitos resultante do vergamento da madeira das espécies pesquisadas para o raio de 21 cm. Região da Depressão Central.

Espécie	Lenho	N. de amostras	Defeitos							
			Sem	a	b	c	d	e	f	g
Açoita-cavalo	adulto	10	1	-	-	-	3	7	3	-
	juvenil	10	2	-	-	-	4	5	2	-
Nogueira-pecã	adulto	10	7	-	-	-	-	3	-	-
	juvenil	10	7	-	-	-	-	3	-	-
Plátano	adulto	10	1	-	-	-	1	7	2	-
	juvenil	10	1	-	-	-	-	7	3	-
Total		60	19	-	-		8	32	10	

Em que: a = esmagamento; b = dobra transversal; c = cisalhamento longitudinal; d = fendas transversais; e = estilhaço; f = ruptura perpendicular; g = fendas de secagem.

No vergamento, os corpos-de-prova, em alguns casos, apresentaram mais de um tipo de defeito, motivo pelo qual a soma dos defeitos é superior ao número de corpos-de-prova testados.

Na madeira provinda dessa Região, foram constatados apenas três tipos de defeitos: fendas transversais, estilhaço e ruptura perpendicular.

A madeira de açoita-cavalo apresentou uma grande percentagem (85%) de peças com defeito. O principal defeito encontrado foi o estilhaço, esse presente principalmente no lenho adulto. Isso se deve à forma de desdobro da madeira que, mesmo tentando desconsiderar a conicidade, leva a se ter grã mais inclinada na parte periférica do tronco.

A madeira de nogueira-pecã vergou apresentando uma menor incidência numérica e tipológica de defeitos, pois se verificou apenas o estilhaço. A madeira vergada de lenho juvenil e adulto teve o mesmo comportamento.

A madeira de plátano apresentou comportamento semelhante à madeira de açoita-cavalo com número de peças sem defeito muito baixo. No entanto, a principal perda de peças foi provocada pelo estilhaço da madeira.

Considerando as três espécies conjuntamente, apenas 32% das peças testadas da região da Depressão Central, com raio de 21 cm, não apresentaram defeitos. Não houve diferenças qualitativas quanto ao tipo de lenho testado no vergamento.

A Tabela 33 apresenta os dados de qualificação do vergamento para a madeira provinda da Encosta Superior do Nordeste, vergada a um raio de 21 cm.

Tabela 33 - Número de amostras sem e com defeitos resultante do vergamento da madeira das espécies pesquisadas para o raio de 21 cm. Região da Encosta Superior do Nordeste.

Espécie	Posição	N. de amostras	Defeitos							
			Sem	a	b	c	d	e	f	g
Açoita-cavalo	adulto	10	1	-	-	-	4	8	-	-
	juvenil	8	5	-	-	-	-	3	-	-
Nogueira-pecã	adulto	10	10	-	-	-	-	-	-	-
	juvenil	10	10	-	-	-	-	-	-	-
Plátano	adulto	10	3	-	-	-	2	6	-	-
	juvenil	10	2	-	-	-	4	8	-	-
Total		58	31	-	-	-	10	25	-	-

Em que: a = esmagamento; b = dobra transversal; c = cisalhamento longitudinal; d = fendas transversais; e = estilhaço; f = ruptura perpendicular; g = fendas de secagem.

Na madeira provinda dessa Região, foram constatados apenas fendas transversais e estilhaço. No vergamento da madeira açoita-cavalo foi observado um grande número de peças com defeito. As peças de madeira juvenil apresentaram uma menor incidência de defeitos, provavelmente, em conseqüência da menor inclinação da grã.

A madeira de nogueira-pecã vergou sem apresentar qualquer defeito qualitativo.

Por outro lado, a madeira de plátano apresentou fendas transversais e estilhaços na maioria dos corpos-de-prova. Observa-se também uma possível maior incidência de defeitos no lenho juvenil.

Da Tabela 33, depreende-se que 53% das peças testadas não apresentaram defeitos.

A Tabela 34 reporta os dados de qualificação do vergamento para a madeira provinda da região da Depressão Central, vergada em um molde de 16 cm de raio.

Tabela 34 - Número de amostras sem e com defeitos resultante do vergamento da madeira das espécies pesquisadas para o raio de 16 cm. Região da Depressão Central.

Espécie	Posição	N. de amostras	Defeitos							
			Sem	a	b	c	d	e	f	g
Açoita-cavalo	adulto	10	-	-	-	-	5	9	3	-
	juvenil	10	1	1	-	-	5	9	2	-
Nogueira-pecã	adulto	10	5	-	-	-	1	5	-	-
	juvenil	10	7	-	-	-	-	3	-	-
Plátano	adulto	10	-	-	-	-	2	8	2	-
	juvenil	10	-	-	-	-	3	7	2	-
Total		60	13	1	-		16	41	9	

Em que: a = esmagamento; b = dobra transversal; c = cisalhamento longitudinal; d = fendas transversais; e = estilhaço; f = ruptura perpendicular; g = fendas de secagem.

Os defeitos apresentados pela madeira dessa Região, vergada a um raio de 16 cm, foram praticamente os mesmos verificados para o vergamento ao raio de 21 cm. Entretanto, o número de defeitos foi bem superior ao verificado no vergamento menos severo, de 21 cm.

A madeira de açoita-cavalo apresentou apenas uma peça sem defeito. As demais apresentaram fendas transversais, estilhaços e ruptura perpendicular, com um grande grupo de peças com mais de um defeito.

Já a madeira de nogueira-pecã vergou com a menor incidência de defeitos. A madeira juvenil foi a que teve melhor comportamento.

Nos testes de vergamento, a madeira de plátano não apresentou peças livres de defeitos.

Apenas 22% das peças dessa Região fisiográfica, testadas com raio de 16 cm, não apresentaram ausência de defeito.

A Tabela 35 mostra os dados de qualificação do vergamento para a madeira provinda da Encosta Superior do Nordeste, vergada a um raio de 16 cm.

Tabela 35 - Número de amostras sem e com defeitos resultante do vergamento da madeira das espécies pesquisadas para o raio de 16 cm. Região da Encosta Superior do Nordeste.

Espécie	Posição	N. de amostras	Defeitos							
			Sem	a	b	c	d	e	f	g
Açoita-cavalo	adulto	10	-	1	-	-	4	10	-	-
	juvenil	10	3	-	-	-	2	5	-	-
Nogueira-pecã	adulto	10	8	-	-	-	-	2	-	-
	juvenil	10	10	-	-	-	-	-	-	-
Plátano	adulto	10	-	-	-	-	4	10	-	-
	juvenil	10	-	-	-		6	5	1	-
Total		60	21	1	-	-	16	32	1	-

Em que: a = esmagamento; b = dobra transversal; c = cisalhamento longitudinal; d = fendas transversais; e = estilhaço; f = ruptura perpendicular; g = fendas de secagem.

Açoita-cavalo apresentou apenas três corpos-de-prova sem defeito. Os demais apresentaram defeitos do tipo esmagamento, fendas transversais, estilhaços e ruptura perpendicular, com um grande grupo de peças com mais de um defeito.

Já a madeira de nogueira-pecã vergou com incidência de apenas dois defeitos de estilhaço na madeira adulta.

No vergamento da madeira da região da Encosta Superior do Nordeste, com raio de 16 cm, a madeira de plátano não apresentou peças livres de defeitos.

Apenas 35% das peças testadas dessa Região fisiográfica, com raio 16 cm, não apresentaram defeitos. Parece haver tendência de ocorrer menor quantidade de defeitos nas peças do lenho juvenil.

De maneira geral as Tabelas 32, 33, 34 e 35, demonstram que a madeira das espécies provenientes da região da Encosta Superior do Nordeste se comportaram melhor no vergamento. Essa diferença pode estar relacionada à melhor qualidade da madeira obtida nessa Região.

Não há grandes diferenças qualitativas quando se considera a maturidade do lenho testado. Ao contrário do indicado pela literatura (KOLLMANN, 1951; BIBLIS, 1990; McALISTER e POWERS Jr., 1992), o lenho juvenil, em muitos casos, até apresentou melhor vergamento que o lenho adulto (caso da madeira de açoita-cavalo e da nogueira-pecã). No entanto, o número de anéis de crescimento e massa específica básica a 12% de umidade foram similares nos dois tipos de lenho e dessa forma pode-se explicar, em parte, os resultados (Tabelas 25 e 30).

As espécies açoita-cavalo e plátano, que apresentam características anatômicas semelhantes, diferem estatisticamente quanto ao número médio de anéis de crescimento. Dessa forma, pode-se atribuir ao maior número de anéis de crescimento do açoita-cavalo ao seu melhor resultado no vergamento. Já a nogueira-pecã foi a espécie que apresentou menor média de anéis/polegada e melhores resultados. No entanto, não há uma relação clara entre o número de anéis por polegada para as Regiões e tipo de lenho. Pode-se supor que a inclinação da grã e as características anatômicas de cada espécie podem estar interferindo nos resultados. Assim, é possível que a madeira de nogueira-pecã com porosidade em anel e com grande proporção de lenho inicial (±50%) tenha maior capacidade de alívio das tensões de vergamento (Tabela 28) e dessa forma produzir um maior número de peças sem defeito.

A madeira de nogueira-pecã, quando comparada com as outras duas espécies, independentemente de procedência e de raio de vergamento, foi a que melhor se comportou no vergamento. Nos raio 21 e 16 cm, respectivamente, 85% e 75% das peças testadas não apresentaram defeito. Com raio de 21 cm, a nogueira-pecã provinda da Encosta Superior do Nordeste vergou sem apresentar um único defeito sequer. Esses percentuais são similares ou até superiores aos encontrados por Davis (1962) com nogueiras procedentes de florestas americanas (78%). Deve-se ressaltar que Davis utilizou raio de 53,3 cm (dobro do maior raio testado), sem pressão longitudinal e/ou cinta de flexão. Por outro lado, o melhor comportamento da madeira de nogueira-pecã no vergamento, quando comparado com as

demais espécies, pode ser explicado, principalmente, pela porosidade em anel que diminui a tensão de vergamento (KOLLMANN, 1951; VORREITER, 1958).

Da mesma forma, Davis (1962), estudando material vergado de 25 espécies, observou que as quatro melhores madeiras tinham porosidade em anel e oito das dez espécies com porosidade em anel, estavam entre as 12 melhores das 25 espécies estudadas.

A título de comparação, o mesmo autor classificou a madeira de *Platanus x ocidentalis*, uma madeira de anatomia semelhante ao *Platanus x acerifolia (Ait.) Willd.*como a 23ª espécie americana, em uma ordem de qualidade, indicada ao vergamento, mesmo com apenas 19% das peças testadas livres de defeitos.

Já quando analisada a proporção de lenho inicial entre as Regiões (apenas para madeira de nogueira-pecã), média para a região da Depressão Central (51%) e para Encosta Superior do Nordeste (50%), não se observa diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade (Tabela 27). O mesmo ocorre quando observa-se o tipo de lenho (juvenil/adulto) na Tabela 26, dessa forma não é clara a relação entre a proporção de lenho inicial e o vergamento.

Tabela 36 - Número de amostras com defeito de estilhaço e sem defeito em razão do ângulo da inclinação da grã, resultante do vergamento da madeira das espécies pesquisadas para o raio de 16 cm para as regiões da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste e por tipo de lenho.

Espécie	Grau inclinação da grã	Lenho				Região				Total
		Juvenil		Adulto		Depressão Central		Encosta Superior do Nordeste		
		Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	
Açoita-cavalo	0	3	4		9	1	5	2	8	16
	0,1–5									0
	5,1–10		4		5		4		5	9
	10,1–15		4		4		6		2	8
	>20		3				2		1	3
Nogueira-pecã	0	11		2		4		9		13
	0,1–5									0
	5,1–10	5	2	9	5	5	5	9	2	21
	10,1–15	1	1	2	2	3	3			6
Plátano	0		5		2		2		5	7
	0,1–5				3		1		2	3
	5,1–10		5		8		11		2	13
	10,1–15		3		1		1		3	4

No vergamento o principal defeito observado foi o estilhaço, e a maioria das peças de madeira (independente da espécie, tipo de lenho e Região de estudo) que produziram este defeito apresentaram também inclinação da grã (Tabelas 36 e 37), semelhante ao descrito por Vorreiter (1958) na qualidade do vergamento. No entanto, algumas peças de madeira (principalmente a madeira de nogueira-pecã) não estilhaçadas também apresentaram algum grau de inclinação da grã.

Tabela 37 - Número de amostras sem e com defeito de estilhaço em razão do ângulo da inclinação da grã, resultante do vergamento da madeira das espécies pesquisadas para o raio de 21 cm para a região da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste e por tipo de lenho.

Espécie	Grau de inclinação da grã	Lenho				Região				Total
		Juvenil		Adulto		Depressão Central		Encosta Superior do Nordeste		
		Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	
Açoita-cavalo	0	6	3	2	5	2	4	6	4	16
	0,1–5				3				3	3
	5,1–10		3		7		6		4	10
	10,1–15	1	2		1	1	2		1	4
Nogueira-pecã	0	13		11		9		15		24
	0,1–5									0
	5,1–10	4	1	5	3	5	4		4	13
	10,1–15		2	1			2		1	3
Plátano	0	1	2	2	8	2	5	1	5	13
	0,1–5									0
	5,1–10	2	10	1	2		7	3	5	15
	10,1–15		3		3		2		4	6

Observa-se na Tabela 38, a retorno relativo (perda da forma circular) das peças vergadas, sem defeitos, das madeiras de açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano para os raios 16 e 21 cm.

Tabela 38 - Retorno relativo da madeira vergada, após o resfriamento no molde por 1h30min e após climatização (20°C e 65% de UR).

Raio (cm)	Espécie	Retorno relativo (%)			
		Lenho juvenil		Lenho adulto	
		Após resfriamento	Após climatização	Após resfriamento	Após climatização
21	Açoita-cavalo (6)	10	15	13	21
	Nogueira-pecã (34)	9	18	10	19
	Plátano (7)	10	18	9	15
16	Açoita-cavalo (4)	9	17	-	-
	Nogueira-pecã (30)	7	12	8	14
	Plátano (0)	-	-	-	-

Entre parêntesis número de peças observadas

Devido à ausência de peças sem defeitos de vergamento, não foi possível realizar esta análise para a madeira de plátano (lenho juvenil e adulto) e para a madeira de açoita-cavalo (lenho adulto), para o raio de 16 cm.

O lenho adulto foi o que apresentou maior retorno das peças vergadas. A maior retorno relativo (21%) foi encontrada para a madeira de açoita-cavalo vergada a um raio de 21 cm. E o menor retorno relativo foi após o resfriamento (7%) nas peças de nogueira-pecã vergadas com raio de 16 cm.

O resfriamento, por 1h30min, não foi o suficiente para estabilizar a madeira depois de vergada. Em ambos os raios, durante a secagem, houve novamente aumento do retorno das peças vergadas. Dessa forma, é necessário um aumento no tempo de secagem no molde, não apenas seu resfriamento. Assim, deve-se diminuir o teor de umidade da madeira para produzir peças mais estáveis, ou até mesmo realizar a secagem das peças fixas em seu raio de vergamento, com vistas a diminuir ou eliminar o retorno. No entanto, se por um lado a fixação das peças pode garantir peças mais bem formadas, por outro essa prática é dificultada quando se utiliza escala industrial. Vale ressaltar que não foram realizados testes para indicar qual seria o retorno das peças não-resfriadas nos moldes e nem as totalmente fixas até a secagem, o que teria sido interessante.

Na Figura 45, pode-se observar o retorno das peças vergadas.

Figura 45 - Peça de madeira vergada: a) peça com raio original; b) peça com retorno no raio vergado.

De maneira geral, os resultados do vergamento das espécies em estudo podem ser resumidos da seguinte forma:

O cuidado com a qualidade da madeira utilizada, sobretudo quanto ao ângulo do desdobro ou da inclinação da grã, faz-se necessário para atingir uma maior proporção de peças livres de defeito.

As madeiras de açoita-cavalo e plátano apresentaram uma incidência grande de defeitos, não sendo indicadas para o vergamento, se utilizada a metodologia descrita neste trabalho.

Os melhores resultados de vergamento foram encontrados para a madeira de nogueira-pecã, provavelmente, devido a sua estrutura anatômica, principalmente porosidade em anel. Dessa forma, manejar esta espécie para uso de sua madeira para vergamento, com maior ganho de fuste e menor proporção de galhos, pode resultar em ganhos para os agricultores com melhores preços da madeira quando do desbaste ou reforma dos povoamentos.

Os resultados indicam que, para as espécies estudadas e, especialmente, para a madeira de nogueira-pecã, não há necessidades de separação entre os tipos de lenho (juvenil e adulto) no processo de vergamento.

Talvez nessas espécies as diferenças entre lenho juvenil e adulto não sejam tão acentuadas. Possivelmente, uma análise das propriedades de flexão estática (em andamento) possa confirmar essa afirmação.

4.6 Sugestões para manejo florestal das espécies

Com base nos principais resultados do vergamento da madeira das espécies açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano sugere-se um manejo florestal que diminua a inclinação da grã produzidos principalmente pela conicidade, proporção de nós e índice de circularidade.

Para tanto, pode-se, primeiramente, organizar um programa de melhoramento genético selecionando árvores matrizes mais cilíndricas, circulares e menor proporção de galhos para a formação de futuros povoamentos. Quando presentes, os galhos devem ter o menor diâmetro possível.

Espaçamentos pequenos aumentam a competição por iluminação solar contribuindo para a formação de florestas de melhor qualidade. Espaçamentos menores, mas que não comprometam a produtividade, levam a formação de troncos mais cilíndricos e menos cônicos, contribuindo, assim para a redução da inclinação da grã.

Por outro lado, à medida que as árvores crescem devem ser programadas desramas e desbastes, para produção de madeira livre de nós e para manutenção de taxas de crescimento elevadas e homogêneas, produzindo madeira de menor heterogeneidade e, portanto, com menos tendência de apresentar problemas no processo de vergamento.

Para vergamento as espécies testadas apresentaram propriedades do lenho juvenil semelhantes ou mesmo superiores às propriedades do lenho adulto. Assim, no manejo florestal não há necessidade da diminuição da proporção de lenho juvenil, através da desaceleração do crescimento no período de formação deste tipo de lenho. Entretanto, deve-se evitar a presença dos dois tipos de lenho na mesma peça de madeira vergada.

Por outro ponto de vista, pode-se optar por ciclos curtos, utilizando apenas madeira de lenho juvenil, se for possível obter bom crescimento a ponto de se conseguir o diâmetro desejado apenas durante a formação deste tipo de lenho.

4.7 Processo de vergamento observado na indústria

O processo de vergamento da madeira é bem-diferente do de vergar metais ou produtos de origem do petróleo, como o plástico que pode receber a forma arredondada e/ou curvada já no processo de fabricação. A madeira necessita de diversos cuidados, como escolha de espécies de madeira plástica, livres de defeitos naturais ou patológicos, teor de umidade entre outros, o que nem sempre é possível. Da mesma forma que antigamente, o vergamento ainda é uma arte e depende muito da prática dos funcionários envolvidos no processo. No entanto,

os defeitos ocorridos no vergamento não podem causar a rejeição de mais que 10% das peças (NOCK e RICHTER, 1977).

Para que o vergamento possa ser feito com sucesso, precisa-se considerar diversas etapas do processo que vão desde a formação da floresta até a entrega do produto final (Figura 46).

Etapa florestal

Apesar das técnicas de vergamento serem bastante antigas, no Brasil, não se definiram técnicas de plantio, manejo e tratos silviculturais condizentes com as necessidades do vergamento. Sobretudo, não se sabe das reais capacidades de vergamento de nossas espécies ou mesmo das espécies exóticas aqui plantadas. Utiliza-se, empiricamente, a madeira de açoita-cavalo provinda da floresta nativa. No entanto, essa espécie escasseou-se com a ausência de uma política empresarial de sustentatibilidade de suas fontes de matéria-prima.

Etapa na serraria

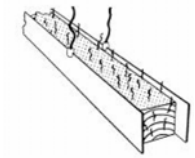
As toras normalmente chegam à serraria em comprimentos variados, sofrem um dimensionamento objetivando maior aproveitamento e rendimento no desdobro. Posteriormente, são desdobradas em pranchas de 40 mm de espessura nas serras-de-fita. As pranchas são refiladas, pré-classificadas e transportadas para o depósito. Nessa operação, comete-se a maior perda de material. Para o vergamento, o desdobro de toras deveria ser feito com cortes paralelos às fibras da periferia das toras, pois as árvores apresentam crescimento em cone e não em cilindro. Dessa maneira, como resíduo do desdobro, sobraria menos costaneira e mais material próximo à medula. No entanto, as serrarias, principalmente as do Rio Grande do Sul, não possuem equipamentos disponíveis para efetuarem este tipo de corte que é utilizado por algumas serrarias na Europa.

1. Floresta

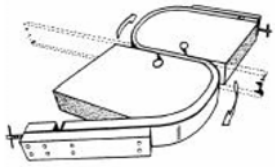
2. Serraria;

3. Secagem

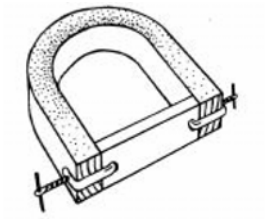
4. Depósito e resserra



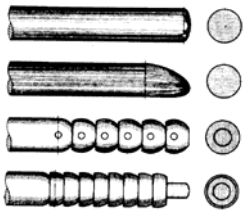
5. Plasticização



6. Vergamento



7. Resfriamento e Secagem



8. Torneamento

9. Montagem e Acabamento

10. Embalagem e Transporte

Figura 46 - Processo empresarial de vergamento de madeira maciça.

Secagem

A madeira é empilhada sofrendo uma pré-secagem (secagem ao ar livre) que a deixará com um teor de umidade de 15 a 20%, na dependência da umidade de equilíbrio da Região e época do ano. Na maioria das empresas de móveis, a madeira é pré-seca ao ar e/ou seca em estufa. Para os móveis vergados, a pré-secagem ocorre geralmente em pátios cobertos e bem-ventilados. Essa secagem, mais lenta que a secagem artificial, geralmente produz menor incidência de defeitos como rachaduras superficiais e de topo ou mesmo colapso. Em contraposição, quando o local não for bem-ventilado, poderá ocorrer o aparecimento de fungos manchadores, que podem prejudicar a qualidade visual e a elasticidade da madeira, interferindo negativamente na qualidade do vergamento.

No vergamento pelo sistema de célula cheia (teor de umidade, base seca, superior ao ponto de saturação das fibras), a madeira não sofre pré-secagem; nesse caso, desdobra-se e verga-se com teor de umidade (base seca) superior a 90%. Nesse sistema, deve-se ter o cuidado em desdobrar a madeira com sobre-medidas adequadas à retratibilidade da madeira utilizada. A

Depósito e resserra

Depois de pré-seca a madeira será redimensionada em peças de tamanho pré-definido segundo necessidades de produção. Esse tipo de resserragem é feito com serras circulares apropriadas. Em muitos casos (Thonart, por exemplo), a resserragem é complementada pela atribuição da forma arredondada. Nessa etapa, é feita também uma seleção das peças de madeira se descartando as defeituosas. Os principais defeitos que descartam as peças de madeira são: presença de nós, inclinação da fibra (grã reversa, ondulada, etc.), algum tipo de podridão ou rachaduras. Se por ventura o controle de qualidade no processo industrial for descuidado o rendimento e a qualidade da madeira vergada será seriamente afetada.

Plasticização

As peças são plasticizadas pelo cozimento em água fervente, vapor (seco ou saturado) ou outro mecanismo dependendo dos equipamentos e técnica da empresa. O tempo de cozimento dependerá da umidade da madeira, da espécie e da espessura da peça em tratamento. Com a plasticização, a madeira torna-se mais flexível, isto é, sua capacidade de alongamento (no lado de tração) e de contração (no lado de compressão) são aumentados

consideravelmente. O aumento da capacidade de contração é superior ao aumento da capacidade de dilatação, de forma que a linha neutra se desloca ainda mais para o lado de tração. Dessa forma, quanto menor o raio de vergamento (r) em relação à espessura da peça (s), tanto maiores são as contrações nas regiões de compressão e menores as dilatações na face de tração. Quando essas deformações de tração ou de compressão ultrapassam às tensões admissíveis para cada espécie de madeira, a peça rompe-se.

Etapa de vergamento

Depois de plasticizada, a madeira é vergada em prensas especiais que, no Brasil, são fixos em moldes de sustentação. Nelas, uma cinta de flexão é presa nas extremidades da peça de madeira, do lado de tração, permitindo uma melhor qualidade da madeira vergada.

Resfriamento e secagem

Nessa operação, a madeira é resfriada e seca até a umidade de equilíbrio da Região de destino do móvel. Seca, a madeira é retirada das formas e classificada: peças defeituosas e mal vergadas são descartadas. A madeira, em temperatura ambiente, retoma às mesmas propriedades de antes do vergamento, mas mantendo a sua nova forma. No entanto, se a secagem for feita com temperatura elevada e os moldes já tenham sido removidos, a madeira vergada tende a perder forma, o que não é desejado.

Torneamento

Se a etapa de torneamento não tiver sido executada logo após o desdobro, as peças são processadas em um torno, no qual ganham forma arredondada. Além disso, para melhorar a superfície ainda lixadas com uma seqüência de lixas de diferentes granulometrias. Embora em muitos casos, a operação de torneamento seja realizada antes do vergamento, o lixamento ocorrerá após a secagem e o resfriamento.

Etapa de montagem e acabamento

Na montagem dos móveis, as peças vergadas e não-vergadas são coladas, pregadas e encaixadas. Na fixação das peças, em alguns casos, recupera-se um pouco o formato perdido com a retirada dos moldes. Por outro lado, a fixação das peças entre si também impede a perda do formato, se exposto em ambiente impróprio. Montadas as peças, os móveis são relixados, para receberem tintas ou vernizes e estofamentos de pano, couro, ou fibra, de acordo com o pedido do cliente.

Embalagem e transporte

O móvel, encomendado conforme as necessidades dos clientes e modelos disponíveis na empresa, é entregue logo após sua confecção, permanecendo pouco tempo no armazém.

Os móveis devem ser embalados devidamente e enviados ao cliente. O transporte é realizado em caminhão fechado, tomando-se cuidado especial com embalagem e acondicionamento da carga no caminhão.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Com base nos resultados obtidos, para as espécies açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano, pode-se concluir que:

* A segregação do lenho juvenil e adulto pode ser estabelecida com precisão pela variação do comprimento da fibra no sentido medula-casca e com menor precisão por meio da variação da massa específica básica;

* Não foi possível segregar o lenho juvenil do adulto pela variação do diâmetro, largura do lúmen e espessura da parede das fibras para as espécies pesquisadas;

* O limite mais provável entre o lenho juvenil e o adulto foi o definido pela variação radial do comprimento da fibra de 21, 16 e 14 anos para açoita-cavalo, nogueira-pecã e plátano, respectivamente;

* Os defeitos apresentados nas peças de madeira vergada com raio de 16 cm, foram, praticamente, os mesmos verificados para o raio de 21 cm. Entretanto, o número de defeitos foi bem superior ao verificado no vergamento menos severo, de 21 cm;

* O número de anéis de crescimento, não afetou a qualidade do vergamento; já o ângulo de inclinação da grã, em relação ao eixo das peças, foi o responsável pelo principal defeito (estilhaço);

* Os corpos-de-prova do lenho juvenil vergaram surpreendentemente melhor que o lenho adulto para os raios e espécies testadas. Dessa forma, não há grande necessidade de um manejo florestal que diminua a quantidade de lenho juvenil. No entanto, o manejo deve ser conduzido com o intuito de diminuir ao máximo a conicidade das toras;

* Por outro lado, mesmo o melhor manejo não consegue produzir peças perfeitamente cilíndricas. Assim, o desdobro das toras deve ser feito respeitando a direção das fibras, evitando o principal defeito do vergamento;

* De maneira genérica a madeira das espécies provenientes da região da Encosta Superior do Nordeste se comportaram melhor no vergamento que as da região da Depressão Central. Essa diferença pode estar relacionada à melhor qualidade da madeira obtida nessa Região;

* Com a madeira de nogueira-pecã foram observados os melhores resultados do vergamento para os raios de 16 e 21 cm, aparentemente a porosidade em anel, característica da espécie, contribuiu no resultado. Já as madeiras de açoita-cavalo e plátano, com porosidade difusa e com grande proporção de parênquima, apresentaram uma grande quantidade de peças defeituosas, necessitando de mais estudos para que possam ser usadas para a produção de peças vergadas.

5.2 Recomendações

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, sugere-se:

* Testar peças de madeira das espécies vergando-as no sentido radial e compará-las com as desta pesquisa (vergadas tangencialmente) em relação às características anatômicas e de qualidade da madeira;

* Pode-se testar também a madeira das espécies estudadas com o método de vergamento de célula cheia e comparar os resultados com os testados nesta pesquisa;

* Expor o material a vergar a diferentes tipos e tempos de cozimento;

* Sugere-se, também, estudos de manejo para os povoamentos de nogueira-pecã para a produção de madeira destinada ao vergamento de maneira que se diminua ao máximo a conicidade, proporção de nós, índice de circularidade, e outros defeitos. Dessa forma aumentando a proporção de madeira de qualidade pode-se melhorar os lucros dos agricultores que trabalham com a produção de nozes;

* Um melhor estudo quanto ao tempo de cozimento da madeira deve ser realizado.

* Com base nas observações realizadas na indústria sugere-se ao empresário, que tenha um bom controle de qualidade no processo industrial evitando, assim, que madeira defeituosa entre no processo, influenciando o rendimento e a qualidade da madeira vergada;

* Sugere-se que outras espécies florestais com porosidade em anel e com boas proporções de parênquima sejam testadas pelas técnicas de vergamento apresentadas neste trabalho.

6 BIBLIOGRAFIA

ABDEL-GADIR, A.Y.; KRAHMER, R. L. Estimating the age of demarcation of juvenile and mature wood in Douglas-fir. **Wood and Fiber Science**, v. 25, n. 3, p. 242-249, 1993.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard methods of testing small clear specimens of timber:** ASTM D 143 – 94. Philadelphia, PA: 1995.

_____American Society for Testing and Materials. **Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties**: ASTM D5536-94. Philadelphia, PA: 1995.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; BAZANELLI, A. V. Densidade básica e características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO LATINO – AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3, 1983. São Paulo **Anais...** São Paulo: ABCP, 1983, p. 113-125.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp., In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 726-731.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira, In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 732-733.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Correlações entre o teor de lenho tardio e densidade básica para espécies do gênero Pinus.Piracicaba, **Circulara Técnica IPEF**. n. 3, p. 1-6, 1978.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Departamento de Economia Florestal. **Inventário Florestal Nacional**. Florestas Nativas, Rio Grande do Sul. Brasília: 1983. 345p.

BENDTSEN, B. A., Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, n. 10, p. 69-72, 1978.

BENDTSEN, B. A.; J. SENFT. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown cottonwood and loblolly pine. **Wood Fiber Science**, v. 18, n. 1, p. 23-28. 1986.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BIBLIS, E.J. Properties and grande yield of luber from a 27-year-old slash pine plantation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 40, n. 3, p. 21-24, 1990.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1982. 712p.

BROWN, M. J.; McWILLIAMS, W. H. Pine stands across the South - trends and projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, 1989, Athens. **Proceedings…** Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, 1990. p. 1-15.

BUCHTER, J.; ADELHOEJ, J; LJOERRING, J.; HANSEN, O**., Introduction to Compressed Wood**, Danish Technological Institute (DTI), Department of Wood and Furniture, Compwood Machines, Denmark, 1993, 33p.

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

CLARK, A.; SAUCIER, J. R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile formation in souther pine. **Forest Products Journal**. v. 39, p. 42-48, 1989.

CLARK, W. **Veneering and Wood Bending in the Furniture Industry**. London: Pergamon Press , 1965. 120p

COZZO, D. **Como utilizar la madera de los árboles cultivados**. Buenos Aires: Cosmo polita, 1956. 219p.

COWN, D. J. Corewood (Juvenile wood) in Pinus radiata – should we be concerned?. **New Zealand Journal of Forestry Scienc**e, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

COWN, D. J.. Radiata pine: Wood age and wood property concepts. **Zealand Journal of Forestry Science**, v. 10, n. 3, p. 508-520, 1980.

COPANT, Comision Panamericana de Normas Técnicas. **Selección y colección de maderas**, COPANT 30:1- 001, 1971.

DAVIS. E. M. **Machining and related characteristics of united states hardwoods**. Wood Technologist, U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREST SERVICE. Washington, , 1962, p 39-42.(Technical Bulletin; N. 1267).

DIVINUT, Portal das nozes, disponível em <http://www.divinut.com.br/nogueira.htm> acessado em 10/10/2005.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira**: peso específico. Santa Maria: UFSM, CEPEF/FATEC, 1991. 29 p (Série Técnica, n. 8)

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento da densidade básica da madeira de eucalipto. **Boletim IPEF** , v.6, n.20, p. 1 - 14, 1978.

FERREIRA, M Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. 1970, 62 f. (Tese - Livre Docência) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1971

FOELKEL, C. E. B.. A crença do País ter "vocação florestal" para um a indústria também de base florestal. **O Papel**, v. 61, n. 02, p. 20-23, Fev. 2000.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCHELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de celulose. **O Papel**, São Paulo, n. 5, p. 35-40, 1992.

FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; DIAS, C.; SHIMDT, C.; DA SILVA, R. M. R. Variabilidade radial da madeira de *Eucalytus saligna* Smith. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 782-791.

FOELKEL, C. E. B.; FERREIRA, M.; NEHRING, J. H.; ROLIM, M. B. Variabilidade no sentido radial da madeira de *Pinus elliottii*. **Boletim IPEF** , n. 10, p. 1-11,1975.

FORTES, A. B.; **Aspectos Fitogeográficos, demográficos e econômicos do Rio Grande do Sul.** .Porto Alegre, Globo 1956, __p.

GALVÃO, A. P. M., JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo, Nobel, 1985. 111p.

GATTO, D. A. **Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas de Três Espécies de Coníferas Plantadas**. 1999. 82f. Relatório (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; FORTES. F.; BULIGON, E. A. Número ideal de medições em fibras maceradas de três Espécies florestais, 2006. In: **não-publicado**

GONZAGA, J. V.; MENOCHELLI, S.; RECH, B.; FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A. Qualidade da madeira de *Acacia mearnsii* da região de Guaíba –RS In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 813-820.

GROSSER, D. **Defeitos da madeira**. Curitiba: FUPEF, 1980. 63p. (Serie Técnica, n. 2).

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science – an introduction**. Ames: Iowa State University, 1982. 495p.

HERRMANN, M. L. de P.; ROSA, R. de O. Relevo. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: 1990. p. 55-84.

KAGEYAMA, P. Y.; MORA, A. L.; BARRICHELO, L. E. G.; MIGLIORINI, A. J.; SANSIGOLO, C. A. Variação genética para a densidade da madeira em progênies de Eucalyptus grandis –RS In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 813-820.

KELLISON, R. C. Characteristics affeecting quality of timber fron plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORD CONGRESS, 17,1981. Japan. **Proceedings...** Japan:1981. p. 77-87.

KOLLMANN, F. **Technologie des holzes und der holzerkstoffe**. Erter Band. Spriger Verlag. Berlin, Göttingen, Heidelberg, J. F. Bermann, München, 1951. 1050p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology.** vol. I. Solid Wood. Springer-Verlag New York Inc. 1968. 592p.

LARSON, P. R. The physiological basis for wood specific gravity in conifers. In: IUFRO Division 5 meeting, v. 2, Stellenbosch, 1973. **Proceedings…** Stellenbosch, 1973. p. 672-680.

LOO, J. A.; TAUER, C. G.; MCNEW, R. W. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (Pinus taeda L.). **Silvae Genetetica,** v. 34, n. 1, p. 14-19, 1985.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 1998. v. 1. 352p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.. **Fichas de Características das madeiras brasileiras**. 2.ed. São Paulo, IPT, 1989. (IPT n. 1791).

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas:** das magnoliáceas às flacurtiáceas. Santa Maria: Ed. UFSM, 1997, 271p.

MATTOS, R.B. **Características qualitativas e possibilidade de ganho de fuste em espécies euxilóforas nativas de São João do Polêsine – RS**. 2002. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

McALISTER, H.; POWERS Jr., H.R. Physical and mechanical properties of half-sib families of rust-resistant loblolly and slash pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n. 11/12, p. 15-20, 1992.

MENDONÇA, M. A. **Características da Madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. 1982. 124f Tese (Mestrado em engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba,1982.

MUÑIZ, G. L. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de Pinus taeda L.**. 1993. 126f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

NOCK, H. P.: RICHTER, H. G. **Tópicos de tecnologia da madeira:** controle de qualidade na indústria madeireira. Curitiba: UFPR-Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 1977. 94p.

OLIVEIRA, J. T. da S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucalipto para a construção civil: 1- avaliação dendométrica. **Scientia Forestalis,** n. 56, p. 113-124, dez de 1999.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de **Textbook of wood technology**. New York. Mc. Graw-hill. Compny, 1970. 105p.

PAUL, B. H. Variation in the specific gravity of springwood and summerwood of four species of southern pines. **J. For.** n. 37: p. 478-482, 1939.

PEÑA, S. V.; PERIS, F. J. J. **Tecnología de la madera**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996. 602p.

PRUGGER, C. Legno Massello Pieghevole e Ornamenti – Bressanone disponível em: <http://www.candidus-prugger.com/>. Acessado em: 10 de dez de 2004.

RAMSAY, W.; BRIGGS, D. Juvenile wood: has it come of age. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS, 1985, Washington. **Proceedings…** Madison: Forest Products Research Society, 1986. p. 5-11.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Sudesul, 1988. 525p.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**. Manual de Dendrologia Brasileira. 2. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1995. 296p.

ROOS, K. D.; SHOTTAFER, J. E.; SHEPARD, R. K., The relation ship between selected mechanical properties and age in quaking aspen. **Forest Products Journal,** v. 40, n. 7/8, p. 54-56. 1990.

SANIO, K. Verber die Gross der Holzzellenbei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). **Jahrb. Wiss. Bot**, v. 8, p. 401-420, 1972.

SCHILLING, A.C. **Influência da desrama sobre a qualidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm.** 1996. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C. R. Influência da desrama sobre a densidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 77-89, 1997.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C. R.; FINGER, C. A. G. Influência de diferentes intensidades de desrama sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 115-127, 1998.

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

SHEPARD, R.K.; SHOTTAFER, J.E. Specific gravity and mechanical property-age relationships in red pine. **Forest Products Journal**., v. 42, n. 7/8, p. 60-66, 1992.

SHIOKURA, T.; Extent and differentiation of the juvenile wood zone in coniferous tree trunks. **Wood Fiber Science,** v. 28, n. 2, p. 85-90. 1982.

SOUZA. V. R. de; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade Básica entre Procedências, Classes de Diâmetro e Posições em Árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Boletim IPEF**, n. 33, p. 65-72,1986.

STAMM, A. J. **Wood and Cellulose Science**. New York: The Ronald Press Company, 1964. 549p.

STUMPP, E. Uso da madeira de florestas plantadas em estruturas. São Leopoldo. **Estudos tecnológicos – engenharia,** v. especial 45p, 1999.

TINTO, J. C. Aplicaciones de las maderas de especies cultivada en la Argentina. In: Cozzo, D. **Árboles forestales, maderas y silvicultura de la Argentina.** Buenos Aires: ACME, 1979. 156p

TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **Boletim IPEF** , n. 29, p. 37-45, 1985.

TOMASELLI, I.Qualidade da madeira de *Pinus elliottii, Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e sua correlação com as propriedades do papel. Relatório final. Convênio FINEP, UFPR, n. 18/79, Curitiba 1979. p. 157-161.

THONART, História da Empresa, Web Site da empresa Thonart 2002. Disponível < www.thonart.com.br/thonart > Acesso em: 3 set. 2002.

TUSET, R.; DURAN, F. **Descripción y clave macroscopicas de maderas comerciales en Uruguay**. Montevideo: Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía, 1970. 63p (Bol., 114).

USDA. U.S Department of Agriculture. **Wood as an engineering material**. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook No. 72. Washington, DC. 1999.

VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica Organografia.** Viçosa: Ed. UFV, 1995. 114p.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim SIF**, Viçosa, n 1, 1984. 21p.

VORREITER, L. **Holztechnologischeshandbuch.** Band II. Wien und München: Verlag Georg Fromme & CQ, , 1958. 646p.

VORREITER, L. **Holztechnologischeshandbuch.** Band I. Wien und München:Verlag Georg Fromme & CQ, , 1949. 548p.

WENGERT, G. **The Wood Doctor's Rx**. University of Madison, WI. 1998.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. Genetics of wood production. **Series in Wood Sciences**, Berlin 337p. 1995.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Fiber Science**, v. 18, p. 1-17. 1984.

ZOBEL, B. J. A review of the contributions on wood quality. In: World Consultation on Forest Tree breeding, 3. Canberra, 1977. **Proceedings...** Canberra: CSIRO, v. 1, p. 143-144, 1978.

ZOBEL, B. J.; WEBB, C.; HENSON, F. Core or juvenile wood of loblolly and slash pine trees, **TAPPI** v. 42, n. 5, p. 345-356, 1958.