

VARIAÇÕES DA DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS  
ANATÔMICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA EM Eucalyptus spp

Vanilda Rosângela de Souza Shimoyama

Orientador: Prof. Dr. Luiz E. G. Barrichelo

Dissertação apresentada à  
Escola Superior de Agricultura  
"Luiz de Queiroz", da  
Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de  
mestre em Ciências Florestais.

Piracicaba

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 1990

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da  
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

---

Shimoyama, Vanilda Rosangela de Souza  
S556v      Variações da densidade básica e características  
anatômicas e químicas da madeira em Eucalyptus spp.  
Piracicaba, 1990.  
93p. ilus.

Diss. (Mestre) - ESALQ  
Bibliografia.

1. Eucalipto - Produto derivado 2. Madeira de  
eucalipto - Anatomia 3. Madeira de eucalipto - Den  
sidade 4. Madeira de eucalipto - Química - Caracte  
rística I. Escola Superior de Agricultura Luiz de  
Queiroz, Piracicaba

CDD 674.142

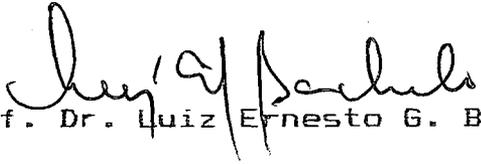
VARIAÇÕES DA DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS  
ANATÔMICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA EM Eucalyptus spp

VANILDA ROSANGELA DE SOUZA SHIMOYAMA

Aprovado em 07-03-91

Comissão Julgadora:

1. Prof. Dr. Luiz E. G. Barrichelo - ESALQ/USP
2. Prof. Dr. Mário Tomazello Filho - ESALQ/USP
3. Dr. João Peres Chimelo - IPT

  
Prof. Dr. Luiz Ernesto G. Barrichelo  
Orientador

Aos meus pais, João e Nercina,

Ao meu esposo, Alberto,

A minha filha, Juliana,

As minhas irmãs Vera, Valderês e Vandenilce,

dedico.

Ao Eng<sup>o</sup> Sinésio Domingues, meu cunhado,

homenageio.

## Agradecimentos

- Ao Professor Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo, pela orientação, apoio e estímulo, amizade e confiança.
- A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e ao Depto. de Ciências Florestais, pela oportunidade.
- A Chamflora S.A. pelo fornecimento do material.
- A empresa ARACRUZ CELULOSE S.A., pelo apoio e auxílio na parte experimental do trabalho.
- A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro necessário à realização do trabalho.
- Ao professor Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, pela colaboração e orientação dada nas análises estatísticas realizadas.
- Ao Engo José Maria Mellato Brasil pela amizade e apoio ao trabalho de computação eletrônica.
- A técnica Maria Regina Bush e aos estagiários do Setor de Química, Celulose e Energia pela colaboração recebida nas diversas fases do trabalho.
- A secretária Beatriz Regina Duarte Novaes pelo apoio.

- Aos colegas do Departamento de Ciências Florestais que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, especialmente à Bióloga Sandra Borges Florsheim, pelo apoio, incentivo e amizade.

## Sumário

	Página
RESUMO .....	iii
SUMMARY .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	04
2.1. Densidade básica .....	04
2.2. Densidade básica e dimensões das fibras ..	05
2.3. Densidade básica e relações entre as dimensões fundamentais das fibras .....	11
2.4. Densidade básica e vasos .....	11
2.5. Densidade básica e composição química ....	12
3. MATERIAL E METODOS .....	15
3.1. Espécie e local .....	15
3.2. Amostragem .....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
4.1. Densidade básica da madeira - sentido longitudinal e radial .....	22
4.2. Características da madeira das três espécies estudadas .....	31
4.3. Características da madeira a 25 e 75% da altura comercial .....	36

4.4. Características da madeira nas regiões interna e externa do disco .....	38
4.5. Relações entre as dimensões das fibras para cada espécie .....	46
4.6. Relações entre as dimensões das fibras nas alturas estudadas .....	49
4.7. Relações entre as dimensões das fibras nas duas regiões do disco .....	50
4.8. Regressão linear para densidade e as características estudadas .....	51
4.9. Regressão múltipla para densidade básica e as características estudadas .....	58
4.10. Regressão linear para as características da madeira .....	65
5. CONCLUSOES .....	89
6. LITERATURA CITADA .....	71
APENDICE .....	80

VARIAÇÕES DA DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS  
ANATÔMICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA EM Eucalyptus spp

Autor : Vanilda R. de Souza Shimoyama

Orientador: Prof. Dr. Luiz E. G. Barrichelo

Resumo

A densidade básica é um parâmetro de qualidade da madeira muito utilizado nos diversos setores florestais. É resultante do conjunto de características anatômicas e químicas da madeira, entretanto não está quantificado a influência individual dessas características sobre a densidade básica. Normalmente, as propriedades anatômicas e químicas da madeira variam acentuadamente entre e dentro dos diversos gêneros, espécies e materiais genéticos, resultando em consideráveis variações na densidade básica. Visando obter melhores informações sobre o assunto, os objetivos deste trabalho foram: verificar as variações da densidade básica, dos elementos anatômicos e da composição química da madeira, e as influências destas propriedades sobre a densidade da madeira entre e dentro das espécies Eucalyptus grandis, E. saligna e E. urophylla. As amostras foram coletadas de árvores com 7 anos de idade, no município de Santa Rosa do Viterbo, Estado de São Paulo.

Foram amostradas 30 árvores, ao acaso, por espécie. Em cada árvore retirou-se discos de madeira na base, no DAP, a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. No disco foram tomadas duas regiões distintas, uma interna (próxima à medula) e outra próxima à casca. Em cada região determinou-se a densidade básica.

Para as determinações químicas e anatômicas da madeira, foram utilizadas para cada espécies, seis árvores tomadas ao acaso. Amostrou-se apenas os discos nas alturas 25 e 75% e regiões interna e externa do mesmo. Determinou-se os teores de holocelulose, lignina e extrativos totais, o diâmetro e porcentagem de vasos, o comprimento, a largura, a espessura da parede e o diâmetro do lúmen das fibras. Através de relações entre as dimensões das fibras foram obtidos o índice de Runkel, a fração parede, o índice de enfeltramento e o coeficiente de flexibilidade.

Estabeleceram-se a partir dos dados, relações entre as características estudadas e modelos de variação para a densidade básica.

De acordo com os resultados observados, houve variações consideráveis para as características da madeira entre espécies e dentro da árvore. O número de características que mostraram relações com a densidade básica foi pequeno e encontra-se relacionado à espécie e

posições dentro da árvore. As características que exerceram maiores influências sobre a densidade foram as anatômicas. A composição química da madeira, isoladamente, não influencia a densidade. Para o E. saligna e E. grandis as maiores influências sobre a densidade foram exercidas pela espessura da parede e diâmetro do lúmen da fibra. Estas relações podem ser explicadas, também, através do índice de Runkel e fração parede. A madeira de E. urophylla não apresentou relações significativas entre as características estudadas.

VARIATION OF BASIC DENSITY AND ANATOMICAL AND CHEMICAL  
CHARACTERISTICS OF WOOD OF Eucalyptus SPP

Author : Vanilda Rosângela de Souza Shimoyama

Adviser: Prof. Dr. Luiz E. G. Barrichelo

**Summary**

Basic density is a parameter of wood quality very much used in several areas of forestry science. It is a result of anatomical characteristics and chemical composition of the wood. It varies widely between and within several genera, species and genetic material. The origin of density is fairly well known. However, the influence of each characteristics of the wood on its basic density has not been measured. In order to obtain this information we investigated: the variation of basic density, anatomical elements and chemical composition of wood, and the influence of these characteristics on wood density between and within species of Eucalyptus grandis, E. saligna and E. urophylla. The samples were collected from seven-year-old trees in the county of Santa Rosa do Viterbo, State of São Paulo.

Thirty trees of each species were sampled. In each tree, discs were removed at the base, breast height, 25, 50, 75, and 100 per cent of commercial height. In each disc, two different regions were sampled: one inner (near the pith) and the other one near the bark. For each sample the basic density was determined.

For the chemical and anatomical tests, six trees randomized of each species were used at heights 25 and 75 per cent, and at the inner and outer regions of the disc. The content of holocellulose, lignin, and total extractives, the diameter and percentage of vessels, the length, width, wall thickness, and lumen diameter of the fibers were determined. Using the relationship between fiber dimensions, the Runkel's index, wall fractions, felting coefficient and coefficient of flexibility were obtained.

Relationships between the characteristics investigated and variation models for basic density were established from the results.

According to the results there was considerable variation for the wood characteristics between species and within of the trees. The number of characteristics that show a relationship to basic density is small and is related to the species and to the positions

inside the tree. The characteristics that had most influence on the density were the anatomical ones. The chemical composition of the wood by itself does not influence this property. For E. saligna and E. grandis most of the influence on the density takes place through the wall thickness and lumen diameter of the fiber. These relationships can also be explained through Runkel's index and wall fraction. The wood of E. urophylla showed no significant relationship to the investigated characteristics.

## 1. INTRODUÇÃO

Até a década passada o maior objetivo na implantação de uma floresta era obter a máxima produção volumétrica. Hoje há uma crescente preocupação com a qualidade da madeira. Qualidade se refere à adequação da madeira para um determinado uso ou a sua capacidade para preencher os requisitos necessários à fabricação de um dado produto. Conhecendo-se a qualidade da matéria-prima e o processo a ser utilizado é possível obter a otimização entre ambos e o produto final.

A correlação entre as características da madeira e as da celulose é importante, pois através desta é possível prever o rendimento e a qualidade do produto, possibilitando o uso de matérias-primas de diferentes propriedades.

Vários parâmetros podem ser utilizados para determinação da qualidade da madeira visando a produção de celulose. São classificados como físicos, sendo o principal a densidade básica, químicos, como os teores de holocelulose, lignina e extrativos, e anatômicos, como as

porcentagens e dimensões das fibras, e porcentagens de vasos e parênquimas. Dentre estes parâmetros, a densidade básica é indicada como um dos mais importantes por ser de fácil determinação e por estar diretamente relacionada às características do produto final.

Por outro lado a densidade é uma propriedade altamente complexa, pois é o resultado da combinação dos elementos anatômicos e dos compostos químicos da madeira. As influências destas características sobre a densidade são bastante discrepantes, permanecendo uma série de dúvidas sobre tais relações.

O conhecimento destas relações é de grande importância para várias áreas da ciência florestal. Por exemplo, no melhoramento estas informações podem simplificar e abreviar os trabalhos e prever ou prevenir-se à alterações indesejáveis em determinados parâmetros ao alterar um deles. Estas relações poderiam também auxiliar na interpretação das variações da densidade ou parte destas que ocorrem na madeira, facilitando o desenvolvimento de técnicas para obtenção de uma matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para sua utilização.

Em função do exposto, os objetivos do trabalho foram verificar as variações da densidade básica, dos elementos anatômicos e da composição química da madeira, e as influências destas propriedades sobre a

densidade básica entre e dentro das espécies Eucalyptus grandis, E. saligna e E. urophylla.

## 2. REVISAO BIBLIOGRAFICA

### 2.1. Densidade básica

A densidade básica é definida como sendo a relação entre o peso seco da madeira e o seu volume obtido acima do ponto de saturação das fibras.

Este parâmetro varia em função de fatores genéticos, silviculturais, edafo-climáticos, etc.

Além das variações observadas entre gêneros, espécies, procedências, povoamentos e entre árvores, as mesmas são encontradas também dentro da árvore (ZOBEL, 1981; BARRICHELO & BRITO, 1984; MEGRAW, 1985). No sentido longitudinal, a variação da densidade da madeira não obedece a um padrão definido (SOUZA et alii, 1986), porém no sentido radial a madeira das espécies do gênero Eucalyptus têm mostrado tendência em aumentar sua densidade da medula para a casca (FOELKEL et alii, 1982; CARPIM & BARRICHELO, 1983; BARRICHELO et alii, 1983 a e CARPIM et alii, 1985).

As madeiras de coníferas são bem uniformes, formadas principalmente pelos traqueídeos, e pelas células de parênquimas na proporção de 9:1. Em função dessa uniformidade, na maioria das vezes são observadas correlações entre a densidade básica, as porcentagens e dimensões dos elementos anatômicos e os teores dos compostos químicos. No caso das folhosas, além do número extremamente maior de espécies para cada família, existe também grande variação na estrutura de suas madeiras que são formadas por fibras libriiformes, fibro-traqueídeos, vasos e parênquimas. Dessa forma torna-se mais difícil relacionar a densidade às outras características, sendo que muitas vezes os resultados não são satisfatórios para estas madeiras.

## **2.2. Densidade e dimensões das fibras**

O comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen das fibras representam diferentes estágios de desenvolvimento das mesmas e são controlados por diferentes processos fisiológicos distintos.

O comprimento das fibras é diretamente influenciado pelas divisões longitudinais-tangenciais no câmbio. Estas, por sua vez, são controladas pela taxa de hormônios da árvore a qual está ligada à sazonalidade, às condições ambientais em que a árvore está submetida e à

fatores genéticos, dentre outros. Nas estações primavera e verão a taxa hormonal aumenta, induzindo as células cambiais à rápidas divisões das células. Dessa forma não há tempo suficiente para o incremento em comprimento da fibra antes da próxima divisão sendo observados menores valores para esta dimensão nas estações citadas.

Esta dimensão é influenciada também pela idade da árvore da seguinte forma: com o aumento da idade as células cambiais passam a produzir elementos com maiores dimensões ao longo do raio até atingirem a estabilização em idades mais avançadas (TOMAZELLO FILHO, 1985). Sendo assim, há um aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca (FOELKEL et alii, 1982; CARPIM et alii, 1985; ANDRADE, 1987). Para as espécies do gênero Eucalyptus a faixa de valores normalmente encontrada para o comprimento de fibras varia de 0,75 a 1,30 mm (BARRICHELO e BRITO, 1976).

Este parâmetro é um fator dominante no controle das resistências do papel, principalmente ao rasgo.

SMITH (1959) e ZOBEL et alii (s/d) estudando as relações entre densidade básica e comprimento de fibras em coníferas, verificaram que estas características são independentes. Entretanto KOCH (1972), WAHLGREEN & SCHUMANN

(1972), PALMER & GIBBS (1973) e KIBBLEWHITE & LLOYD (1983) afirmam que com o aumento no comprimento de fibras há um correspondente aumento na densidade básica da madeira. Para Eucalyptus sp DAVIDSON (1972) encontrou correlação positiva e VASCONCELLOS DIAS & CLAUDIO-DA-SILVA JR. (1985) verificaram que não há relação entre os dois parâmetros.

Muitas vezes, as correlações positivas citadas para ambos os parâmetros mostram apenas que os mesmos possuem um aumento paralelo dentro da árvore, como demonstrado em trabalho de CARPIM et alii (1985). O comprimento isoladamente não é capaz de alterar o valor da densidade.

A espessura da parede das fibras é uma característica que está relacionada à fatores genéticos e ambientais, e à idade da árvore.

Uma fibra adulta é formada por duas paredes, a primária e a secundária. Durante o crescimento em comprimento, a fibra apresenta apenas a parede primária. Sua espessura não chega a 0,1  $\mu$ m e representa apenas 2% do total da parede celular (PANSIN e DE ZEEUW, 1970). A parede secundária geralmente aparece após o aumento da célula em comprimento ter cessado. Seu espessamento ocorre com a deposição de carboidratos, principalmente quando o crescimento da árvore é lento.

A parede secundária é dividida em três camadas, a S1 com espessura de 0,2  $\mu\text{m}$ , representando aproximadamente 16% da espessura total da parede; a S2 com espessura de 2 a 5  $\mu\text{m}$  (SENAI/IPT, 1988), e representa 74% desta dimensão da fibra; e a S3 com espessura igual a 0,1  $\mu\text{m}$ , representando 8% da parede celular (PANSHIN e DE ZEEUW, 1970).

Os carboidratos que são depositados na parede da fibra possuem alto grau de polimerização e alto peso molecular podendo tornar a madeira mais densa. Relações positivas entre densidade e espessura da parede das fibras são verificadas por vários autores em estudos com coníferas, tais como ZOBEL (1961), VAN BUIJTENEN (1964, 1965), SCARAMUZZI (1965), GODDARD & COLE (1966), PALMER & GIBBS (1973), MAEGLIN (1976), KELLOG & GONZALEZ (1976), KIBBLEWHITE & LLOYD (1983) e NICHOLS (1984). O mesmo resultado é encontrado por DAVIDSON (1972), BARRICHELO & BRITO (1976), BARRICHELO (1979) e VASCONCELLOS DIAS & CLAUDIO-DA-SILVA JR. (1985), ao estudarem a madeira de espécies de eucaliptos, onde concluíram que a densidade básica pode dar indicações da espessura da parede da fibra.

Os valores da espessura da parede das fibras, apresentados pelas espécies do gênero Eucalyptus, se encontram na faixa de 2,5 a 6,0  $\mu\text{m}$  (BARRICHELO e BRITO, 1976). No que diz respeito às variações dentro da árvore,

constata-se que sua tendência é aumentar no sentido radial (FOELKEL et alii, 1982 e CARPIM et alii, 1985).

A largura das fibras é uma dimensão que está relacionada, além dos fatores genéticos e ambientais, também ao crescimento sazonal. Os maiores aumentos são verificados durante as estações primavera e verão, onde a taxa de hormônios é maior. Hormônios específicos agem no arrançamento das fibrilas, afrouxando ou juntando-as. No primeiro caso o ângulo fibrilar aumenta, verificando-se em consequência valores superiores para o diâmetro da fibra. Para o segundo caso o ângulo fibrilar diminui, decrescendo-se os valores para a largura das fibras (ZIMMERMANN, 1964).

Geralmente são observados valores entre 12 e 20  $\mu\text{m}$  para esta dimensão em espécies de eucalipto (BARRICHELO e BRITO, 1976). No sentido medula-casca há uma pequena tendência em aumentar o diâmetro da fibra, uma vez que é influenciada pela idade cambial.

A largura das fibras é uma característica que deixa dúvidas quanto à sua relação com a densidade básica. Se as fibras possuírem diâmetros grandes e paredes espessas, serão observadas correlações estatísticas positivas entre ambas. Porém, se as mesmas são largas, e com paredes finas, o resultado será inverso.

Para coníferas, os trabalhos mostram que há correlação positiva entre as duas características (ZOBEL, 1961; VAN BUIJTENEN, 1964, 1965; SCARAMUZZI, 1965; KOCH, 1972; WAHLGREEN & SCHUMANN, 1972; KIBBLEWHITE & LLOYD, 1983). Entretanto, para Eucalyptus grandis VASCONCELLOS DIAS & CLAUDIO-DA-SILVA JR. (1985) verificaram que quanto maior a largura da fibras, menor é a densidade básica.

O diâmetro do lúmen depende da largura e da espessura da parede das fibras. Quanto maior o seu valor, mais espaços vazios serão encontrados na madeira e, conseqüentemente esta apresentará menor densidade básica (GODDARD & COLE, 1966; DAVIDSON, 1972; KELLOGG & GONZALEZ, 1976).

De acordo com a literatura, os valores observados para esta dimensão em espécies de eucalipto, se encontram na faixa de 6,0 a 10  $\mu\text{m}$  (BARRICHELO e BRITO, 1976). Dentro da árvore não se verifica nenhuma tendência para suas variações.

### 2.3. Densidade básica e relações entre as dimensões das fibras

Muitas vezes as dimensões das fibras, isoladamente, podem não mostrar correlações significativas com a densidade, conforme verificado por ANDRADE (1987).

Porém, ao agrupá-las podem ser constatados resultados satisfatórios. Esse agrupamento sob diversas formas, resultam em índices que auxiliam na interpretação da qualidade da madeira e da celulose. São eles: o índice de Runkel, definido como sendo a relação entre duas vezes a espessura da parede celular e o respectivo diâmetro do lúmen; o índice de enfiletramento, relação entre o comprimento e a largura da fibra; o coeficiente de flexibilidade, expresso pela relação entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra, em porcentagem; e a fração parede, definida como sendo a relação percentual entre a espessura da parede da fibra e a metade de sua largura. HIGGINS et alii (1973) e BARRICHELO (1979) observaram que o índice de Runkel é a relação que exerce maior influência sobre a densidade da madeira.

#### 2.4. Densidade básica e vasos

Os vasos são elementos estruturais bastante variados quanto à frequência, forma e arranjo. Variam de 50 a 300  $\mu\text{m}$  na madeira de eucalipto. Sua frequência é de aproximadamente 17%. O número e diâmetro destes elementos exercem marcante influência nas características superficiais dos papéis para impressão.

No que diz respeito às suas variações, no sentido radial, sabe-se que para regiões próximas à medula

o diâmetro dos vasos mostra-se menor, porém seu número é maior. Em regiões próximas à casca o diâmetro desses elementos é maior, entretanto seu número é menor (TOMAZELLO FILHO, 1983). Dessa forma, a área ocupada por eles (em unidade ou porcentagem) geralmente não é alterada de uma região para outra.

Quanto maior o diâmetro e o número de vasos, maior área de espaços vazios será encontrada na madeira. Dessa forma, geralmente suas correlações com a densidade básica, quando encontradas, mostram-se negativas (DAVIDSON, 1972).

## 2.5. Densidade básica e composição química

Quimicamente, a madeira se caracteriza por ser um material constituído por compostos de elevados graus de polimerização e pesos moleculares, tais como a celulose, hemiceluloses e lignina. Eles são considerados verdadeiros responsáveis pela morfologia e estrutura da madeira. A holocelulose (celulose e hemiceluloses) é formada durante o período de desenvolvimento da parede celular. A lignina aparece após algum grau de formação da mesma.

De acordo com STAMM e SANDERS (1966) e Kellogg et alii (1975<sup>1</sup>) citados por KOCH (1985) a densidade

---

<sup>1</sup> Kellogg, R.M. et alii. Relations between cell-wall composition and cell-wall density. Wood and fiber, 7:170 - 177. 1975.

específica dos constituintes químicos da madeira é a seguinte: para a holocelulose  $1,521 \text{ g/cm}^3$ , para a lignina é de  $1,366 \text{ g/cm}^3$  e para a hemicelulose e alfa-celulose a densidade é de  $1,457$  e  $1,528 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente.

As madeiras de eucalipto tem mostrado de 40 a 55% de celulose, de 20 a 40% de hemiceluloses e o teor de lignina na faixa de 15 a 25% do peso total da madeira (BARRICHELO & BRITO, 1976).

Independente dos teores relativos esses três compostos devem colaborar para aumentos na densidade básica, devido a seus altos pesos moleculares.

Os extrativos são compostos de baixos pesos moleculares e não fazem parte da estrutura da madeira. Porém muitas madeiras possuem altos teores, o que colabora para o aumento da sua densidade. Essa correlação positiva é verificada por KOCH (1972), WAHLGREEN & SCHUMANN (1972), BARRICHELO & BRITO (1977) e ZOBEL (1981). Entretanto, FOELKEL et alii (1980) salientam que os extrativos pouco afetam a densidade básica e VASCONCELLOS DIAS & CLAUDIO-DA-SILVA JR. (1985) não encontraram correlação entre as duas características.

Ao lado dos resultados que demonstram existir relações entre os compostos químicos e a densidade da madeira, existem evidências de que estas são bem menos importantes que as relações encontradas para densidade e elementos anatômicos. De acordo com DAVIDSON (1972), as correlações quando encontradas, são baixas, indicando que a composição química da madeira pouco influencia a sua densidade.

### 3. MATERIAL E METODOS

#### 3.1. Espécies e local

Para a realização do estudo foram utilizadas madeiras das espécies Eucalyptus grandis, E. saligna e E. urophylla com 7 anos de idade, tendo em vista que as relações procuradas são importantes na utilização industrial da madeira nesta idade, principalmente para celulose e papel. O material foi fornecido pela Chamflora S.A. e coletado em áreas experimentais no Horto Santa Cristina, Município de Santa Rosa do Viterbo - SP.

As características do local onde coletou-se as amostras de madeira são as seguintes:

- tipo de solo: areia quartzosa profunda
- topografia: aproximadamente 10% de declividade
- temperatura média anual: 23 °C
- pluviosidade média anual: 1.146,6 mm

As informações sobre cada espécie são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das espécies utilizadas no trabalho - ano base 1988.

Característica	Espécie		
	<u>E. grandis</u>	<u>E. saligna</u>	<u>E. urophylla</u>
Procedência	PC	Itatinga	Flores
Altura média (m)	20,00	19,52	20,65
DAP médio (cm)	13,25	17,32	12,09
IMA (st/ha/ano)	47,64	52,00	48,89

PC = Pomar clonal da Chamflora

DAP = Diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo)

IMA = Incremento médio anual

### 3.2. Amostragem

Para cada espécie tomou-se 30 árvores ao acaso, das quais retirou-se um disco na base, no DAP, a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial.

De cada disco foram retiradas amostras em duas regiões distintas, procurando-se obter madeira de diferentes densidades: maior densidade (região próxima à casca) e menor densidade (região próxima à medula). Conforme pode ser observado na figura 1, a região próxima à medula (interna) corresponde ao intervalo de 10 a 45% do

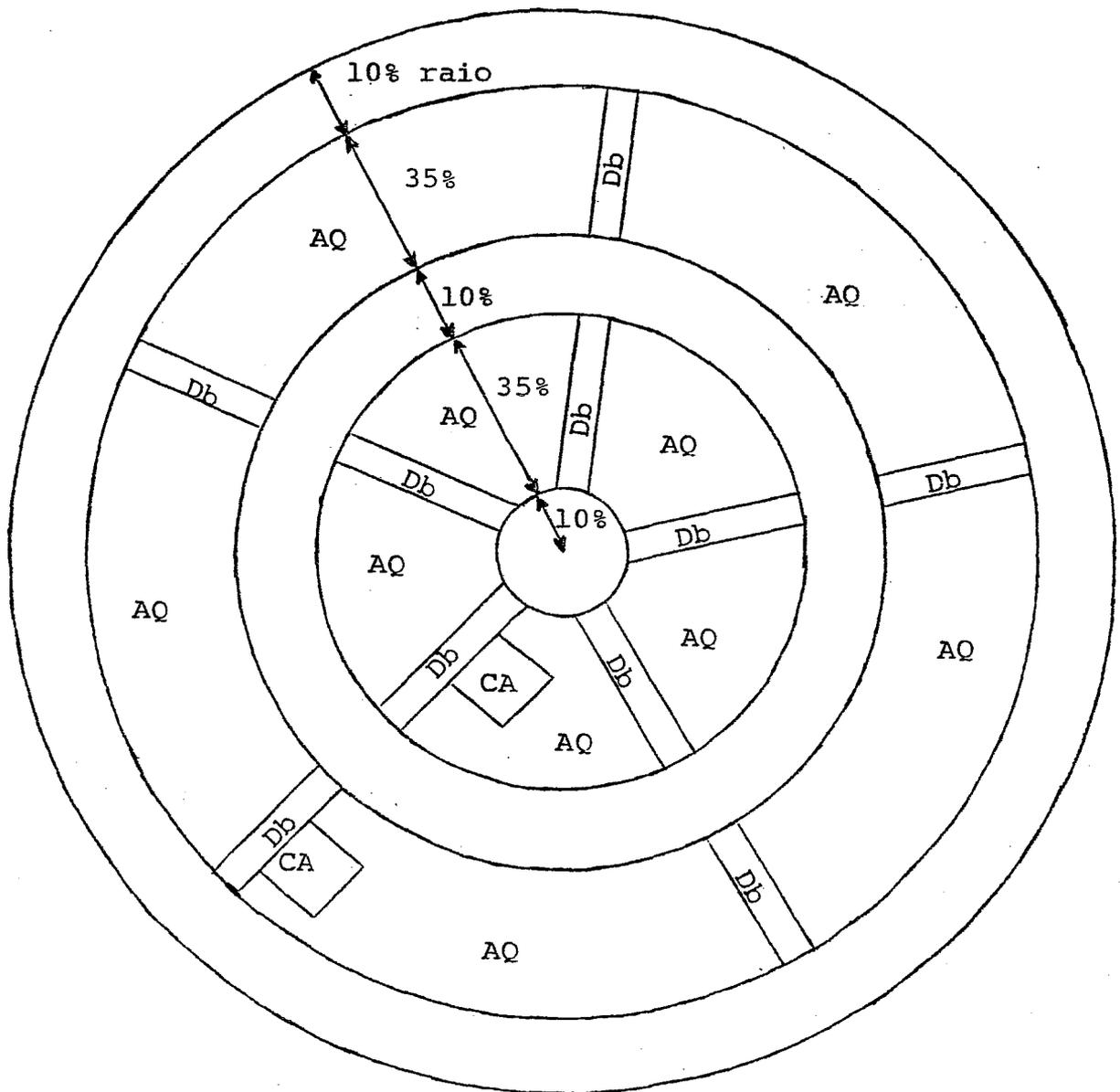
raio do disco e aquela próxima à casca (externa) abrange de 55 a 90% dessa distância.

De cada região foram retiradas 5 amostras para determinar a densidade básica através do método do máximo teor de umidade (FOELKEL et alii, 1971).

Para os ensaios químicos e anatômicos tomou-se, ao acaso, 6 árvores por espécie. De cada árvore foram estudadas apenas os discos das alturas 25 e 75%. Esta região do tronco possui madeira mais homogênea.

De cada amostra separou-se um corpo de prova para análise das características anatômicas e a madeira restante foi transformada em serragem para análises químicas, como mostra a figura 1.

Figura 1. Amostragem do disco para os ensaios realizados.



CA = características anatômicas

Db = densidade básica

AQ = análises químicas

Determinou-se o teor de extrativos de acordo com as normas Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel M3/69, M4/68 e M6/68; o teor de lignina de acordo com a norma Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel M70/71; e a porcentagem de holocelulose por diferença a partir dos teores de extrativos e lignina, conforme a expressão:

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - \text{Lignina(\%)} - \text{Extrativos totais(\%)}$$

Para o estudo das características anatômicas, os corpos de prova foram retirados nas dimensões 2x2x2 cm, conforme as Normas Técnicas da Comissão Panamericana (COPANT, 1974). Depois de identificados, os mesmos foram fervidos numa solução de água destilada, glicerina e álcool, na proporção de 3:1:1, durante quarenta e oito horas. Logo após, estes foram mantidos imersos numa solução idêntica à anterior para serem cortados.

Cada corpo de prova foi fixado no micrótomo de deslize, marca Jung-Ag, modelo Seit 1872, a fim de polir sua superfície transversal, antes da confecção dos cortes histológicos.

No momento da confecção dos cortes, posicionou-se o corpo de prova de tal maneira que permitisse que o seu parênquima radial estivesse perpendicular ao operador no corte transversal.

Os cortes, de 18 a 24  $\mu\text{m}$  foram retirados da navalha com um pincel e colocados, após serem unidecidos, entre duas lâminas. Inicialmente, clarificou-se os mesmos com hipoclorito de sódio 50%. Em seguida foram lavados, gotejando-se água corrente e, posteriormente, submetidos a desidratação em série etílica.

Depois de corados com safranina (solução alcoólica 50 GL), os cortes transversais foram mergulhados no xilol puro e finalmente montados em bálsamo-do-canadá.

O estudo dos cortes anatômicos foi realizado através de um microscópio, marca Zeiss, modelo S-154, acoplado a um analisador de imagens, marca Quantimet, modelo 920. Para as mensurações utilizou-se de uma combinação de aumentos de 10 vezes para a ocular, 40 vezes para a objetiva e 1,25 para o optovar (anel de aumento). Dessa maneira, o aumento real de imagens no microscópio é de aproximadamente 500 vezes.

Mensurou-se o diâmetro e contou-se a porcentagem de vasos, utilizando-se quatro campos por amostra.

Para dissociação das fibras, a maceração das amostras foi realizada através do processo nítrico-acético, conforme BARRICHELO & FOELKEL (1983).

Foram medidos o comprimento, através de um projetor, a largura e o diâmetro do lúmen das fibras através de um microscópio óptico, marca Bausch e Lomb. A espessura da parede foi calculada pela diferença entre a largura e o diâmetro do lúmen da fibra, divididos por dois. Para cada amostra foram utilizadas quatro repetições (lâminas), sendo mensuradas 12 fibras por lâmina.

Através das relações entre dimensões das fibras foram calculados os seguintes índices:

- índice de Runkel =  $2 EP/DL$
- fração parede =  $2 EP/L \times 100$
- índice de enfeitramento =  $C/L \times 1000$
- coeficiente de flexibilidade =  $DL/L \times 100$

onde:

EP = espessura da parede

DL = diâmetro do lúmen

C = comprimento

L = largura (ou diâmetro da fibra)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Variação da densidade básica da madeira nos sentidos longitudinal e radial

A Tabela e a figura 2 mostram a variação da densidade básica no sentido longitudinal para a madeira das espécies E. grandis, E. saligna, E. urophylla.

Tabela 2. Valores para a densidade básica no sentido base-topo -  
média de 30 árvores por espécie.

Espécie	Parâmetro	altura (%)					
		base	DAP	25	50	75	100
<u>E. grandis</u>	$\bar{m}$	0,507	0,482	0,471	0,469	0,461	0,460
	s	0,044	0,043	0,043	0,044	0,046	0,045
	CV	8,68	8,92	9,13	9,88	10,09	9,78
<u>E. saligna</u>	$\bar{m}$	0,532	0,493	0,500	0,505	0,509	0,498
	s	0,046	0,037	0,039	0,038	0,041	0,041
	CV	8,65	7,50	7,80	7,52	8,06	8,23
<u>E. urophylla</u>	$\bar{m}$	0,533	0,506	0,513	0,530	0,524	0,534
	s	0,036	0,038	0,036	0,041	0,040	0,039
	CV	6,75	7,51	7,02	7,74	7,63	7,40

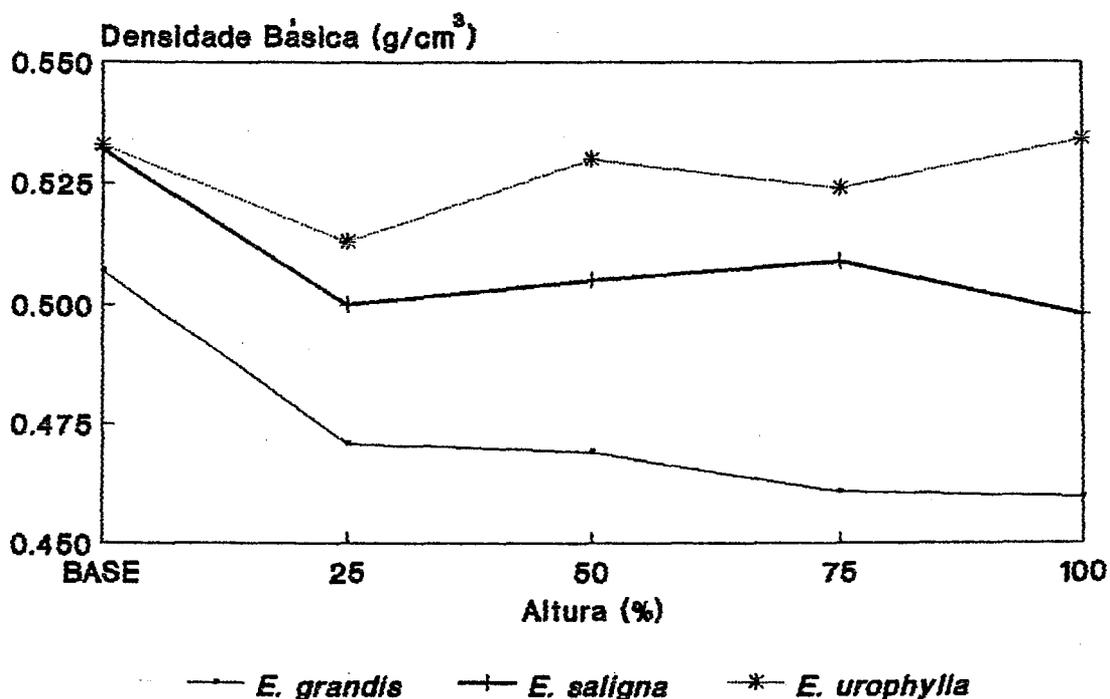
$\bar{m}$  = média (g/cm<sup>3</sup>)

s = desvio padrão

CV = coeficiente de variação (%)

DAP = diâmetro à altura do peito

Figura 2. Variação da densidade básica da madeira para as espécies.



Conforme podemos observar na tabela 2, a variação da densidade ao longo do tronco da árvore é distinta para as espécies estudadas. Geralmente estas variações obedecem a um modelo matemático cúbico (BARRICHELO e NARIYOSHI, 1984), principalmente para as

espécies E. grandis e E. saligna. Este modelo é observado para o E. saligna, onde a densidade decresceu da base para 25% da altura e aumentou a partir desse ponto, diminuindo novamente no topo. Esse resultado está de acordo com aquele encontrado por BARRICHELO et alii (1983 b) ao estudar a densidade básica da madeira de várias espécies de eucalipto. O E. grandis apresentou valores de densidade decrescente da base para o topo diferindo daquelas verificadas por BARRICHELO et alii (1983 b), BARRICHELO e BRITO (1984) e CAMARGO et alii (1987) e concordando com aqueles encontrados por VITAL et alii (1981) ao estudar em a madeira de E. grandis. As diferenças para a variação longitudinal da densidade dentro de uma mesma espécie podem ser função de materiais genéticos distintos.

Quanto à espécie E. urophylla, sua madeira apresenta valores de densidade alternados longitudinalmente, tendendo a aumentar.

A explicação normalmente encontrada para as variações, ao longo do tronco, segundo BARRICHELO et alii (1983 b), está baseada na ocorrência de madeira de reação, cujos principais agentes seriam o peso da copa, tipo e ângulo de inserção dos ramos e ação dos ventos na parte superior do tronco, e influências do sistema radicular na região inferior deste.

Quanto às variações entre árvores, podemos observar através dos coeficientes de variação que o E. grandis possui maior variabilidade para a densidade básica entre suas árvores. Este resultado é importante para os trabalhos de melhoramento, ampliando a faixa de valores para a seleção de árvores. Para a tecnologia essa heterogeneidade é indesejável, influenciando negativamente na qualidade do produto final.

Os valores da densidade da madeira no sentido longitudinal, para as regiões interna e externa do disco, são apresentados na tabela 3. A variação da densidade neste sentido do tronco pode também ser visualizada através da figura 3.

Tabela 3. Valores para a densidade básica no sentido base-topo para ambas as regiões estudadas (média de 30 árvores por espécie).

Espécie	Região	Parâmetro	Altura (%)					
			Base	DAP	25	50	75	100
<u>E. grandis</u>	Interna	m	0,505	0,476	0,467	0,468	0,457	0,460
		s	0,041	0,042	0,043	0,044	0,042	0,046
		CV	8,10	8,80	9,30	9,50	9,20	9,90
	Externa	m	0,508	0,489	0,477	0,470	0,464	0,459
		s	0,047	0,044	0,043	0,044	0,051	0,045
		CV	9,30	8,90	9,20	9,30	10,90	9,60
<u>E. saligna</u>	Interna	m	0,504	0,457	0,470	0,479	0,492	0,496
		s	0,046	0,034	0,033	0,035	0,045	0,043
		CV	9,00	7,50	7,10	7,40	9,20	8,60
	Externa	m	0,560	0,528	0,529	0,530	0,525	0,500
		s	0,046	0,039	0,046	0,041	0,038	0,039
		CV	8,20	7,50	8,60	7,70	7,30	7,83
<u>E. urophylla</u>	Interna	m	0,506	0,483	0,486	0,514	0,508	0,524
		s	0,032	0,036	0,033	0,039	0,038	0,033
		CV	6,41	7,50	6,78	7,60	7,41	6,30
	Externa	m	0,559	0,529	0,540	0,546	0,540	0,543
		s	0,039	0,040	0,039	0,043	0,041	0,046
		CV	7,04	7,53	7,23	7,92	7,57	8,42

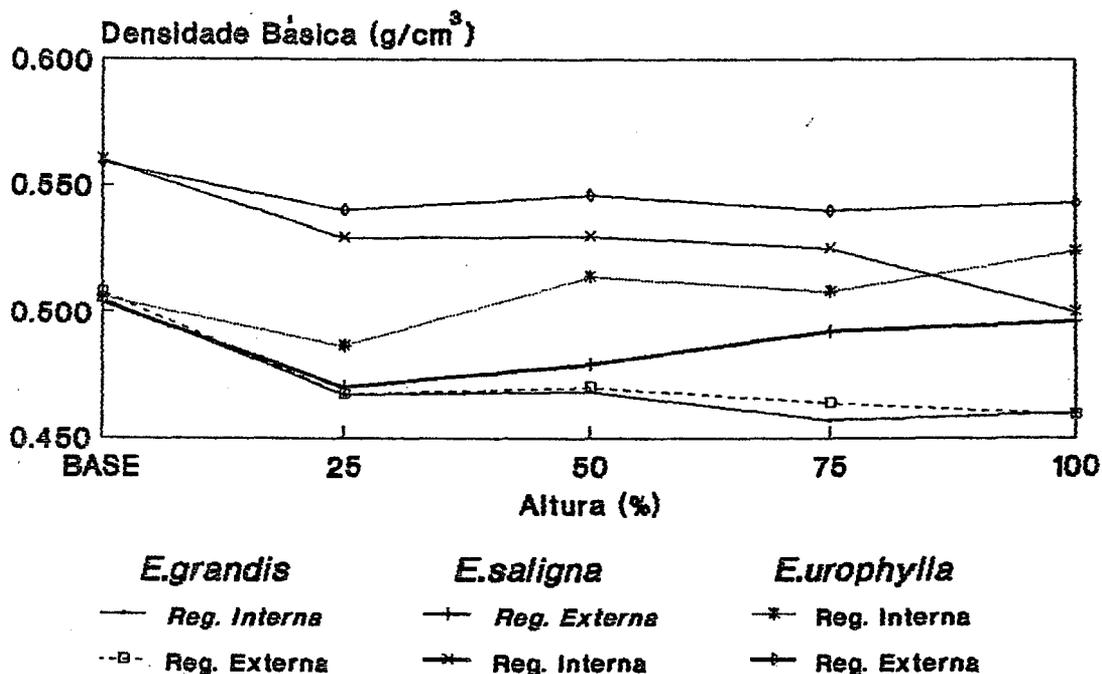
m = média (g/cm<sup>3</sup>)

s = desvio padrão

CV = coeficiente de variação

DAP = diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo)

Figura 3. Variação longitudinal para a densidade da madeira  
(Regiões interna e externa)



Através da Tabela e figura 3 verifica-se que a densidade praticamente não difere entre as duas regiões para a madeira da espécie *E. grandis*. O mesmo não ocorre com as demais espécies que apresentam grande diferença para os valores entre as duas regiões na base da árvore, tendendo a diminuir com o acréscimo em altura. Os maiores valores são encontrados na região externa do disco.

No modelo geral da variação longitudinal da densidade para as espécies visto na figura 2, a densidade básica tanto para o *E. grandis* quanto para o *E. saligna*

mostra-se menor no topo. Entretanto, ao analisarmos esta variação para cada região verificamos que na região interna os valores tendem a aumentar no topo, porém a região externa apresenta uma diminuição acentuada nesta posição, resultando, em média, em menores valores nesta altura do tronco.

A Tabela 4 apresenta a análise de variância para a densidade da madeira.

Tabela 4. Análise de variância para densidade básica da madeira entre espécies, regiões e alturas - Valores de F.

CV	GL	F
Espécie	2	127,88**
Região	1	137,70**
Altura	5	13,76**
Espécie x Região	2	24,75**
Espécie x Altura	10	4,00**
Região x Altura	5	4,25**
Espécie x Região x Altura	10	1,18 n.s.
Residuo	5365	
Total	5400	

\*\* = significativo a nível de 1% de probabilidade

n.s. = não significativo

Teste de Tukey para a densidade básica

Médias das espécies:

E. urophylla = 0,523 a

E. saligna = 0,506 b

E. grandis = 0,474 c

Diferença mínima significativa a nível de 5% de probabilidade = 0,0072.

Médias das regiões:

Região externa = 0,516 a

Região interna = 0,486 b

Diferença mínima significativa a nível de 5%  
de probabilidade = 0,0049.

Médias das alturas:

Base = 0,524 a

50 % HC = 0,502 b

75 % HC = 0,500 b

100% HC = 0,497 b

25 % HC = 0,495 b

DAP = 0,493 b

Diferença mínima significativa ao nível de 5%  
de probabilidade = 0,0124.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao  
nível de 5% de probabilidade.

A análise de variância para espécies, alturas e regiões estudadas mostrou valores de F significativos ao nível de 1% de probabilidade, indicando que há grandes diferenças para a densidade entre as mesmas. Observando-se o teste de Tukey para a comparação dos valores médios desta propriedade, pode-se verificar que entre as espécies a maior densidade é apresentada pelo E. urophylla e a menor, pelo E. grandis. Valores semelhantes foram observados por

BRASIL (1983) ao estudar a densidade básica de E. urophylla, por CARPIM e BARRICHELO (1983) ao analisarem esta propriedade para várias espécies de Eucalyptus e por CAMARGO et alii (1987) estudando a madeira de E. grandis. As médias para regiões indicam a região externa como a de maior densidade. Resultados semelhantes foram encontrados por GONZAGA et alii (1982) e FOELKEL et alii (1983) ao analisarem a variação radial desta característica.

Para a densidade das alturas estudadas, o maior valor é apresentado pela base, sendo a única posição a diferir significativamente das demais. Tal fato mostra que a diminuição desta propriedade em regiões inferiores do tronco é bastante considerável, sendo depois gradual com o acréscimo em altura, conforme verificado por BARRICHELO (1979).

#### 4.2. Características da madeira das três espécies estudadas

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios de densidade básica, composição química e características anatômicas da madeira para as três espécies estudadas.

Tabela 5. Valores médios para as características da madeira das espécies estudadas.

Espécie	Parâmetro	Db	CF	LF	EP	DL	DV	XV	HO	LI	ET
<u>E. grandis</u>	$\bar{m}$	0,468	0,99	19,6	4,24	11,1	106,3	12,4	71,5	23,6	4,8
	s	0,015	0,081	0,384	0,185	0,576	11,236	0,975	0,408	0,263	0,316
	CV	3,21	8,14	1,96	4,36	5,18	10,57	7,86	0,57	1,11	6,58
<u>E. saligna</u>	$\bar{m}$	0,503	1,01	18,6	4,28	10,1	105,4	11,1	71,8	23,9	4,4
	s	0,026	0,064	0,473	0,212	0,513	9,336	1,518	0,556	0,670	0,250
	CV	5,17	6,34	2,54	4,95	5,08	8,86	13,68	0,77	2,80	5,68
<u>E. urophylla</u>	$\bar{m}$	0,497	1,06	19,8	4,63	10,6	116,3	14,4	71,5	23,8	4,8
	s	0,023	0,085	0,499	0,141	0,275	12,566	1,320	0,532	0,141	0,525
	CV	4,54	8,04	2,52	3,04	2,60	10,81	9,17	0,74	0,59	10,94

Db = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)

CF = comprimento das fibras (mm)

LF = largura das fibras (µm)

EP = espessura da parede (µm)

DL = diâmetro do lúmen (µm)

DV = diâmetro dos vasos (µm)

XV = porcentagem de vasos

HO = porcentagem de holo celulose

LI = porcentagem de lignina

ET = porcentagem de extrativos totais

 $\bar{m}$  = média

s = desvio padrão

CV = coeficiente de variação (%)

De acordo com os resultados apresentados anteriormente (tabela 2), vimos que o E. urophylla apresentou a maior densidade, vindo a seguir, em ordem decrescente, o E. saligna e o E. grandis. Entretanto, analisando os valores da tabela 5, referentes às seis árvores tomadas ao acaso, observa-se que houve uma pequena inversão para a densidade do E. urophylla e E. saligna. Esta alteração indica que as seis árvores não representaram a densidade do povoamento de E. urophylla. Entretanto, a diferença entre ambas não é significativa estatística (Tabela 9). Já o E. grandis se caracteriza por apresentar a menor densidade, diferindo significativamente das demais espécies de acordo com o teste de Tukey (Tabela 9).

Na tabela 5 encontra-se uma das principais características do gênero Eucalyptus que é o seu pequeno comprimento de fibras. O valor médio para as espécies estudadas é de aproximadamente 1,00 mm. Provavelmente a celulose e papel produzidos à partir destas madeiras devem possuir menores resistências, principalmente ao rasgo, quando comparadas ao produto obtido de madeiras de fibras mais longas. Apesar da semelhança dos valores entre as espécies, a análise de variância (Tabela 8) detectou diferenças significativas para o comprimento das fibras entre as mesmas. O teste de Tukey (Tabela 9) mostra que o E. urophylla diferiu das demais espécies, apresentando o

maior valor para este parâmetro. Os mesmos resultados foram observados por BARRICHELO e NARIYOSHI (1984).

Os valores obtidos para a largura das fibras estão dentro da faixa normalmente observada para as espécies. A menor largura é encontrada para a madeira de E. saligna, diferindo significativamente das outras espécies estudadas (tabelas 8 e 9).

Quanto à espessura da parede das fibras, podemos verificar através da Tabela 5 que o E. urophylla apresenta o maior valor, diferindo estatisticamente das demais espécies. Resultados semelhantes foram observados por BARRICHELO e NARIYOSHI (1984). Ao que tudo indica a celulose e papel produzidos a partir desta madeira deve possuir menores resistências quando comparadas às outras espécies, principalmente aquelas relacionadas às ligações entre fibras, pois a fibra espessa tende a manter sua forma original, diminuindo suas inter-ligações.

Quanto ao diâmetro do lúmen, observa-se diferenças consideráveis para esta dimensão entre as espécies. A análise de variância (tabela 8) confirma tais variações, detectando diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade. De acordo com os valores apresentados na Tabela 5 e o teste de Tukey (Tabela 9), o menor diâmetro do lúmen é encontrado na madeira de E. urophylla, vindo a seguir, em ordem crescente, o E. saligna, e o E. grandis. O

mesmo resultado é verificado por TOMAZELLO FILHO (1988). Para a última espécie o alto valor para o diâmetro do lúmen deve estar colaborando para sua menor densidade básica.

De uma maneira geral, as dimensões das fibras das espécies estudadas mostram-se semelhantes aos resultados obtidos por outros autores (GONZAGA et alii, 1983; TOMAZELLO FILHO, 1985; CAMARGO et alii, 1987; TOMAZELLO FILHO, 1988; WILKES, 1988).

Os valores apresentados pelo diâmetro e porcentagem de vasos para as três espécies estão na faixa de variação relatada por TOMAZELLO FILHO (1988) e WILKES (1988). Para ambas as características, a análise de variância na Tabela 8 mostra diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre as espécies. Através do teste de Tukey observa-se maior valor de diâmetro dos vasos para o E. urophylla. O mesmo ocorre para a porcentagem de vasos. Entretanto, para esta última característica há também diferença entre o E. grandis e E. saligna.

No que diz respeito à produção de celulose, o ideal é se conseguir uma matéria-prima com o maior teor possível de holocelulose e menores teores de lignina e extrativos. Os dois últimos compostos são eliminados durante o processo de cozimento da madeira e teores elevados dos mesmos colaboram para baixos rendimentos em celulose. Valores acima de 70% para holocelulose e abaixo

de 24% para lignina e 5% para extrativos totais, são considerados bons. Dessa forma, os resultados destes parâmetros apresentados pelas três espécies confirmam seus potenciais para a produção de celulose. Através da análise de variância verifica-se que não há diferenças significativas para os teores de holocelulose e lignina entre as espécies. Resultados semelhantes foram observados por FOELKEL e BARRICHELO (1975 a). Para o teor de extrativos a análise de variância (tabela 8) detectou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre as espécies. De acordo com o teste de Tukey a maior porcentagem de extrativos foi apresentada pelo E. grandis.

#### 4.3. Características da madeira a 25 e 75% da altura comercial

Na tabela 6 são apresentados os valores para as características da madeira das três espécies nas alturas 25 e 75%.

Tabela 6. Valores médios das características da madeira nas alturas estudadas para cada espécie.

Espécie	Altura (%)	Db	CF	LF	EP	DL	DV	%V	HO	LI	ET
<u>E. grandis</u>	25	0,463	1,02	19,8	4,27	11,3	108,8	13,1	71,6	23,6	4,7
	75	0,473	0,97	19,4	4,20	11,0	103,8	11,8	71,5	23,6	4,8
<u>E. saligna</u>	25	0,506	1,01	18,9	4,29	10,5	103,6	10,7	72,0	23,5	4,4
	75	0,500	1,01	18,2	4,27	9,7	107,2	11,6	71,5	24,2	4,3
<u>E. urophylla</u>	25	0,489	1,09	20,1	4,60	10,9	113,7	13,9	71,1	23,7	5,1
	75	0,504	1,02	19,5	4,66	10,4	118,9	14,9	71,8	23,9	4,4

Db = densidade básica ( $g/cm^3$ )

CF = comprimento das fibras (mm)

LF = largura das fibras ( $\mu m$ )EP = espessura da parede ( $\mu m$ )DL = diâmetro do lúmen ( $\mu m$ )DV = diâmetro dos vasos ( $\mu m$ )

%V = porcentagem de vasos

HO = porcentagem de holocelulose

LI = porcentagem de lignina

ET = porcentagem de extrativos totais

No que diz respeito às variações das características entre as duas alturas estudadas, verifica-se que a densidade básica tende a apresentar maior valor a 75% da altura comercial, entretanto estas diferenças não são significativas estatisticamente. Para as dimensões das fibras há, em geral, uma pequena tendência em apresentarem maiores valores a 25% da altura da árvore. Estas diferenças só não foram significativas para a espessura da parede.

Quanto ao diâmetro e porcentagem de vasos, e teores de lignina, holocelulose e extrativos totais os valores apresentados em ambas as alturas são muito semelhantes. Este resultado é confirmado pela análise de variância que não detectou diferenças significativas.

#### 4.4. Características da madeira nas regiões interna e externa do disco

Os valores das características da madeira estudadas para as regiões interna e externa do disco são apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Valores médios das características da madeira nas regiões estudadas para cada espécie.

Espécie	Região	Db	DF	LF	EP	DL	DV	%V	HO	LI	ET
<u>E. grandis</u>	RI	0,456	0,93	10,8	4,08	11,6	97,0	12,9	71,3	23,6	5,1
	RE	0,479	1,06	19,4	4,39	10,6	115,5	11,9	71,7	23,6	4,6
<u>E. saligna</u>	RI	0,481	0,96	18,5	4,12	10,1	103,4	11,8	71,6	23,8	4,5
	RE	0,525	1,07	18,7	4,45	10,1	107,4	10,5	71,9	23,9	4,2
<u>E. urophylla</u>	RI	0,479	0,99	19,5	4,54	10,6	107,1	13,9	71,2	23,8	5,0
	RE	0,515	1,12	20,1	4,73	10,6	125,5	14,9	71,7	23,7	4,6

Db = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)

CF = comprimento de fibras (mm)

LF = largura das fibras (µm)

EP = espessura da parede (µm)

DL = diâmetro do lúmen (µm)

DV = diâmetro dos vasos (µm)

%V = porcentagem de vasos

HO = porcentagem de holo celulose

LI = porcentagem de lignina

ET = porcentagem de extrativos totais

RI = região interna

RE = região externa

Observando as densidades nas regiões distintas é possível notar uma nítida diferença entre a madeira da parte central e externa do disco. A região externa apresenta maior densidade. Este resultado está de acordo com a literatura citada na revisão do presente trabalho, onde foi ressaltado que, de um modo geral, a densidade tende a aumentar no sentido medula-casca.

Resultados semelhantes são verificados para o comprimento, largura e espessura da parede, onde apresentam-se maiores próximo à casca, concordando com as observações de CARPIM e BARRICHELO (1983) e TOMAZELLO FILHO (1985).

Para o diâmetro do lúmen, os maiores valores são encontrados na região interna do disco. Portanto a menor espessura da parede e maior diâmetro do lúmen das fibras estão colaborando para a menor densidade apresentada por esta região. Todas as diferenças citadas foram estatisticamente significativas (Tabelas 8 e 11).

O diâmetro de vasos conforme esperado é inferior para a madeira interna do disco. A análise estatística indica que estas diferenças são altamente significativas, confirmando as observações de TOMAZELLO FILHO (1988).

Os valores para porcentagem de vasos e teores de holocelulose e lignina são muito semelhantes entre ambas as regiões estudadas. O teor de extrativos totais é levemente superior na região interna do disco, não sendo capaz de elevar a densidade nesta posição do disco.

O resultado da análise estatística para todas as características da madeira, estudadas nas diferentes posições do tronco da árvore, são apresentadas nas tabelas 8, 9, 10 e 11.

Tabela 8. Análise de variância para as características da madeira das espécies estudadas - 6 árvores por espécie - Valores de F.

CV	BL	Db	CF	LF	EP	DL	DV	XV	HO	LI	ET
Espécie	2	18,7**	20,0**	33,2**	20,5**	22,1**	10,8**	31,2**	0,3	n.s.	n.s.
Altura	1	1,4	21,2**	21,6**	0,0	15,5**	0,4	0,2	0,0	1,6	2,9
Região	1	44,7**	200,0**	1,5	24,0**	14,9**	67,1**	2,0	1,7	0,0	9,0**
Esp. x Alt.	2	1,6	5,5*	0,8	0,5	1,5	0,3	4,0*	0,1	0,1	0,1
Esp. x Região	1	1,4	0,5	5,1*	0,6	5,2*	2,3	4,8**	1,6	0,8	3,6*
Alt. x Região	1	1,7	0,12	0,3	0,1	0,1	0,3	0,5	1,4	3,8	0,3

Db = densidade básica

CF = comprimento de fibras

LF = largura das fibras

EP = espessura da parede das fibras

DL = diâmetro do lúmen das fibras

DV = diâmetro de vasos

XV = porcentagem de vasos

HO = teor de holo celulose

LI = teor de lignina

ET = extrativos totais (%)

n.s. = não significativo

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 9. Teste de Tukey para as características estudadas - médias das espécies

Espécies	Db	CF	LF	EP	DL	DV	XV	HO	LI	ET
<i>E. grandis</i>	0,467 a	1,00 a	19,6 a	4,24 a	11,1 a	106,3 a	12,4 a	71,6 a	23,6 a	4,8 a
<i>E. saligna</i>	0,503 b	1,01 a	18,6 b	4,28 a	10,1 b	105,4 a	11,1 b	71,7 a	23,9 a	4,4 b
<i>E. urophylla</i>	0,497 b	1,06 b	19,8 a	4,63 b	10,6 c	116,3 b	14,4 c <sup>^</sup>	71,5 a	23,8 a	4,7 a

Db = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)

CF = comprimento de fibras (mm)

LF = largura das fibras (µm)

EP = espessura da parede das fibras (µm)

DL = diâmetro do lúmen das fibras (µm)

DV = diâmetro de vasos (µm)

XV = percentagem de vasos

HO = teor de holocelulose

LI = teor de lignina

ET = extrativos totais (%)

Obs.: Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 10. Teste de Tukey para as características estudadas - média para as alturas

Altura (%)	Db	CF	LF	EP	DL	DV	XV	HO	LI	ET
25	a 0,486	a 1,04	a 19,6	a 4,39	a 10,8	a 108,7	a 12,6	a 71,6	a 23,6	a 4,7
75	a 0,492	b 1,00	b 19,0	a 4,38	b 10,4	a 109,9	b 12,7	a 71,6	a 23,9	a 4,5

Db = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)

CF = comprimento de fibras (mm)

LF = largura das fibras (µm)

EP = espessura da parede das fibras (µm)

DL = diâmetro do lúmen das fibras (µm)

DV = diâmetro de vasos (µm)

XV = porcentagem de vasos

HO = teor de holocelulose

LI = teor de lignina

ET = extrativos totais (%)

Obs.: Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela II. Teste de Tukey para as características estudadas - médias para as regiões.

Região	Db	CF	LF	EP	DL	DV	%V	HO	LI	ET
RI	a 0,472	a 0,96	a 19,2	a 4,25	a 10,8	a 100,6	a 12,9	a 71,4	a 23,8	a 4,8
RE	b 0,506	b 1,08	a 19,4	b 4,52	b 10,4	b 118,0	a 12,4	a 71,8	a 23,8	b 4,4

RI = região interna

RE = região externa

Db = densidade básica ( $g/cm^3$ )

CF = comprimento de fibras (mm)

LF = largura das fibras ( $\mu m$ )EP = espessura da parede das fibras ( $\mu m$ )DL = diâmetro do lúmen das fibras ( $\mu m$ )DV = diâmetro de vasos ( $\mu m$ )

%V = porcentagem de vasos

HO = teor de holocelulose

LI = teor de lignina

ET = extrativos totais (%)

Obs.: Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

#### 4.5. Relações entre as dimensões das fibras para cada espécie

Os valores dos índices calculados entre as dimensões das fibras para as espécies são apresentados na tabela 12.

Tabela 12. Valores médios referentes as relações entre dimensões das fibras para as espécies estudadas.

Espécie	Parâmetro	IR	FP	IE	CFI
<u>E. grandis</u>	$\bar{x}$	0,774	43,0	50,0	56,0
	s	0,098	3,188	4,699	3,029
	CV	12,7	7,40	9,40	5,40
<u>E. saligna</u>	$\bar{x}$	0,850	46,0	54,0	54,0
	s	0,106	3,779	5,679	2,658
	CV	12,5	8,20	10,50	4,90
<u>E. urophylla</u>	$\bar{x}$	0,886	47,0	53,0	53,0
	s	0,135	4,44	5,741	3,36
	CV	15,2	9,40	10,80	6,30

IR = índice de Runkel

FP = fração parede (%)

IE = índice de enfiamento

CF = coeficiente de flexibilidade (%)

$\bar{x}$  = média

s = desvio padrão

CV = coeficiente de variação (%)

O índice de Runkel relaciona-se diretamente com as propriedades da celulose e do papel. Quando seu valor é menor que 1, verifica-se que a celulose é bem mais resistente, pois as fibras possuem maior capacidade de inter-ligações. Quando este índice é superior a 1 as resistências relacionadas às ligações entre fibras são menores (FOELKEL e BARRICHELO, 1975). As três espécies se caracterizam por apresentarem excelentes valores para o índice de Runkel.

A fração parede é um índice que influencia a qualidade da celulose e de acordo com FOELKEL e BARRICHELO (1975) valor superior a 40% não produz celulose de boa qualidade. Isso porque as fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e com dificuldades nas inter-ligações das mesmas. As espécies estudadas se caracterizam por apresentarem altos valores para este índice, principalmente o E. saligna e E. urophylla. Segundo os autores citados esta relação mantém proporcionalidade positiva com a resistência ao rasgo e negativa com as resistências à tração, ao arrebatamento e com o peso específico aparente.

O índice de enfiamento que relaciona o comprimento e a largura da fibra, parece não estar associado com as resistências da celulose e papel. O maior valor para esta relação é verificado para o E. saligna,

seguido em ordem decrescente pelo E. urophylla e E. grandis.

Para o coeficiente de flexibilidade, quanto maior for o seu valor mais flexível se torna a fibra colaborando para maiores ligações entre as mesmas. Segundo FOELKEL & BARRICHELO (1975) este índice se correlaciona positivamente com as resistências à tração e ao arrebatamento. De acordo com a tabela 12, o valor mais expressivo para esta relação é observado para o E. grandis e o menor para o E. urophylla.

Em geral, os valores das relações entre as dimensões das fibras encontrados para as três espécies estudadas, estão de acordo com aqueles verificados na literatura (BARRICHELO e BRITO, 1976; CARPIM et alii, 1985).

#### 4.6. Relações entre as dimensões das fibras nas alturas estudadas

Tabela 13. Valores médios para as relações entre as dimensões das fibras nas alturas estudadas.

Espécie	Altura(%)	IR	FP	IE	CFI
<u>E. grandis</u>	25	0,769	43,0	51,0	57,0
	75	0,778	43,0	50,0	56,0
<u>E. saligna</u>	25	0,816	7,0	56,0	53,0
	75	0,884	44,0	52,0	56,0
<u>E. urophylla</u>	25	0,870	46,0	55,0	54,0
	75	0,902	48,0	52,0	53,0

IR = índice de Runkel

FP = fração parede (%)

IE = índice de enfeltramento

CFI = coeficiente de flexibilidade

Através da tabela 13 nota-se que os índices de Runkel e de enfeltramento mantêm um padrão de variação entre as duas alturas para as espécies estudadas. Para o primeiro parâmetro os maiores valores são verificados a 75% da altura comercial. Nesta posição, tanto a espessura da parede quanto o diâmetro do lúmen tendem a ser menores, porém o diâmetro do lúmen é proporcionalmente maior (tabela 6), resultando em um incremento para a relação entre ambos. Fatos semelhantes são verificados para a relação entre o comprimento e a largura da fibra (índice de enfeltramento),

porém na altura 25%. A fração parede e o coeficiente de flexibilidade apresentam valores alternados entre as duas alturas para as espécies estudadas.

#### 4.7. Relações entre as dimensões das fibras nas duas regiões do disco

Tabela 14. Valores médios para as relações entre as dimensões das fibras nas regiões do disco.

Espécie	Região	IR	FP	IE	CFI
<i>E. grandis</i>	RI	0,712	41,0	47,0	58,0
	RE	0,835	45,0	54,0	54,0
<i>E. saligna</i>	RI	0,791	44,0	52,0	56,0
	RE	0,909	48,0	57,0	53,0
<i>E. urophylla</i>	RI	0,870	47,0	51,0	54,0
	RE	0,901	47,0	56,0	53,0

RI = região interna

RE = região externa

IR = índice de Runkel

FP = fração parede(%)

IE = índice de enfeltramento

CFI = coeficiente de flexibilidade(%)

Os resultados apresentados na tabela 14 mostram que o índice de Runkel, a fração parede e o índice de enfeltramento são maiores na região externa do disco e que o coeficiente de flexibilidade é menor nesta posição.

Dessa forma podemos afirmar que a celulose obtida a partir desta madeira possui menores resistências, principalmente àquelas relacionadas às ligações inter-fibras.

#### **4.8. Regressão linear para densidade e as características estudadas**

Na análise de variância pressupõe-se a independência das características. A densidade é uma característica quantitativa, resultante dos parâmetros qualitativos da madeira, conforme afirmativas encontradas na literatura e apresentados na revisão do presente trabalho. Visando expressar as relações entre estas características foram realizadas análise de regressão linear. Os resultados, que se apresentaram significativos do ponto de vista estatístico, são mostrados nas Tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15. Regressão linear para densidade básica e as demais características da madeira ao nível de 1% de probabilidade. Valores de r.

Correlações	Variáveis independentes					
	C	L	E	DL	DV	HD
Geral	-	-	0,5781	-	-	-
Espécie	<u>E. saligna</u>	0,5781	0,5279	0,6014	-	-
	<u>E. grandis</u>	-	-0,6219	-	-0,5883	-
	<u>E. urophylla</u>	-	-	-	-	-
Regiões	R.I.	-	-	-	-	-
	R.E.	-	-	-	-	-
Altura	25% HC	-	-	-	-	-
	75% HC	-	-	-	-	-
Espécie x Altura	ES 25% HC	-	-	-	-	-
	ES 75% HC	-	-	-	-	0,8026
	EB 25% HC	-	-	-	-0,7441	-
	EB 75% HC	-	-	-	-	-
	EU 25% HC	-	-	-	-	-
	EU 75% HC	-	-	-	-	-
Regiões	ES R.I.	-	-	-	-	-
	ES R.E.	-	-	-	-	-
	EB R.I.	-	-	-	-	-
	EB R.E.	-	-	-	-	-
	EU R.I.	-	-	-	-	-
	EU R.E.	-	-	-	-	-

C = comprimento das fibras  
 L = largura das fibras  
 E = espessura da parede  
 DL = diâmetro do lúmen  
 DV = diâmetro dos vasos  
 HD = porcentagem de holocelulose  
 RI = região interna  
 RE = região externa  
 ES = E. saligna  
 EB = E. grandis  
 EU = E. urophylla

Tabela 16. Regressão linear para densidade básica e as demais características da madeira ao nível de 5% de probabilidade. Valores de r.

Correlações	Variáveis independentes					
	C	L	E	DL	DV	HD
Geral	0,2472	-	-	0,2959	-	-
Espécie	<u>E. saligna</u>	-	-	-	-	-
	<u>E. grandis</u>	-	-	-	-	-
	<u>E. urophylla</u>	-	-	-	-	-
Regiões	R.I.	-	-	-	-	-
	R.E.	-	-	0,3647	-	-
Altura	25% HC	-	-	0,3393	-0,3422	-
	75% HC	-	-	0,3501	-	-
Espécie x Altura	ES 25% HC	0,5980	0,5765	-	-	-
	ES 75% HC	-	-	0,6857	-	-
	EG 25% HC	-	-0,7064	-	-	-
	EG 75% HC	-	-	-	-	-
	EU 25% HC	-	-	-	-	-
	EU 75% HC	-	-	-	-	-
Regiões x Espécie	ES R.I.	-	-	-	-	-
	ES R.E.	-	0,6030	0,6639	-	0,6559
	EG R.I.	-	0,6810	-	-	0,5838
	EG R.E.	-	-	-	-	-
	EU R.I.	-	-	-	-	-
	EU R.E.	-	-	-	-	-

C = comprimento das fibras  
L = largura das fibras  
E = espessura da parede  
DL = diâmetro do lúmen  
DV = diâmetro dos vasos  
HD = porcentagem de holocelulose  
RI = região interna  
RE = região externa  
ES = E. saligna  
EG = E. grandis  
EU = E. urophylla

Através da análise de regressão linear para os dados globais, podemos observar correlações altamente significativas entre densidade básica e espessura da parede das fibras; e ao nível de 5% de probabilidade para densidade e comprimento, densidade e diâmetro do lúmen das fibras. Este resultado está de acordo com aqueles verificados por BARRICHELO et alii (1983 a) citados na revisão do presente trabalho. Fato interessante é observado ao desdobrarmos as análises em alturas e regiões na árvore, onde as relações positivas entre espessura da parede e densidade são mostradas para as duas alturas estudadas no tronco, e para a região externa do disco; e a correlação negativa entre densidade e diâmetro do lúmen das fibras é encontrada a 25% da altura comercial.

Nas correlações individuais para espécie, o E. saligna apresentou relações significativas: entre densidade básica e espessura da parede das fibras, a 75% da altura comercial, na região externa do disco; entre densidade básica e comprimento das fibras, a 25% da altura do tronco, na região externa; entre densidade básica e largura das fibras, a 25% da altura comercial, na região externa do disco; e entre densidade e o teor de holocelulose, a 75% da altura comercial, também na região externa do disco. Dessas relações a mais relevante foi entre densidade básica e espessura da parede das fibras. As expressivas correlações negativas entre densidade básica e diâmetro do lúmen das fibras foram encontradas na madeira

de E. grandis, a 25% da altura comercial. Para esta espécie houve também correlações significativas entre densidade básica e largura das fibras.

Especial destaque deve ser dado à madeira de E. saligna que mostrou um maior número de relações significativas entre suas características. Para o E. urophylla não se verificou nenhuma relação significativa. Decorre das observações feitas que as influências das características da madeira sobre sua densidade, estão ligadas à espécie e à posições dentro da árvore, isto é, a fatores genéticos. Dessa forma é necessário, em qualquer estudo relacionado ao assunto, que se faça análise individual para espécie.

Os resultados da regressão linear para a densidade básica e as relações entre as dimensões das fibras estão na Tabela 17.

Tabela 17. Regressão linear para densidade básica e relações entre as dimensões das fibras. Valores de r.

Correlações		Variáveis Independentes			
		IR	FP	CFI	IE
Geral		0,4087**	0,3402**	-	0,2813*
Espécie	<u>E. saligna</u>	0,4090*	-	-0,4894**	-
	<u>E. grandis</u>	0,5478**	0,4518**	-	-
	<u>E. urophylla</u>	-	-	-	-
Regiões	RI	-	-	-	-
	RE	0,3461*	-	-	-
Alturas	25%	0,5681**	0,3687*	-0,4475**	-
	75%	0,3655*	-	-	-
Espécie	ES 25%	-	-	-0,5852*	-
	ES 75%	-	-	-	-
x Altura	EG 25%	0,6217*	0,6187*	-0,6037*	-
	EG 75%	-	-	-	-
	EU 25%	-	-	-	-
	EU 75%	-	-	-	-
Espécie	ES RI	-	-	-	-
	ES RE	-	-	-	-
x Região	EG RI	-	-	-	-
	EG RE	-	-	-	-
	EU RI	-	-	-	-
	EU RE	-	-	-	-

IR = índice de Runkel

FP = fração parede

CFI = coeficiente de flexibilidade

IE = índice de enfieltramento

ES = Eucalyptus salignaEG = Eucalyptus grandisEU = Eucalyptus urophylla

RI = região interna

RE = região externa

\* = significativo a nível de 5% de probabilidade

\*\* = significativo a nível de 1% de probabilidade

Através da Tabela 17 verifica-se que na análise geral houve correlação altamente significativa para densidade e índice de Runkel, e entre densidade e fração parede. Ao nível de 5% de probabilidade observa-se relação positiva entre densidade e índice de enfieltramento.

Nas correlações individuais para espécies verifica-se relações positivas entre densidade e índice de Runkel, para a madeira de E. saligna, e densidade e fração parede, para o E. grandis. Estes resultados confirmam aqueles mostrados pelas relações entre a densidade e as dimensões das fibras.

#### 4.9. Regressão múltipla para densidade básica e as características estudadas

Visando-se expressar as influências conjuntas dos parâmetros estudados sobre a densidade foi realizada análise de regressão múltipla para os dados. Foram escolhidas as equações que apresentaram maior significância estatística (maiores valores de F e de coeficiente de regressão). Estas equações são apresentadas a seguir.

## 1. Equação geral para as espécies

$$Db = B_0 + B_1 \cdot CF + B_2 \cdot EP + B_3 \cdot DL$$

$$R = 0,1709^{**}$$

onde,

$$B_0 = 0,4171$$

$$B_1 = 0,0334$$

$$B_2 = 0,0352$$

$$B_3 = -0,0110$$

$B_3$  = densidade básica

CF = comprimento das fibras

EP = espessura da parede das fibras

DL = diâmetro do lúmen das fibras

\*\* = significativo a 1% de probabilidade

R = coeficiente de regressão múltipla

## 2. Equação para 25% da altura comercial

$$Db = B_0 + B_1 \cdot EP + B_2 \cdot DL$$

$$R = 0,1901^*$$

onde:

$$B_0 = 0,4300$$

$$B_1 = 0,0473$$

$$B_2 = -0,0139$$

$B_2$  = densidade básica

EP = espessura da parede das fibras

DL = diâmetro do lúmen das fibras

\* = significativo a 5% de probabilidade

R = coeficiente de regressão múltipla

### 3. Equações para a densidade do E. saligna

#### a - Para a espécie

$$Db = B_0 + B_1 \cdot CF + B_2 \cdot LF + B_3 \cdot EP$$

$$R^2 = 0,6216^{**}$$

onde,

$$B_0 = -0,3976$$

$$B_1 = 0,2252$$

$$B_2 = 0,0243$$

$$B_3 = 0,0514$$

\*\* = significativo a 1% de probabilidade

R = coeficiente de regressão múltipla

#### b - Para 25% da altura comercial

$$Db = B_0 + B_1 \cdot CF + B_2 \cdot LF$$

$$R^2 = 0,5716^*$$

onde,

$$B_0 = -0,5238$$

$$B_1 = 0,2704$$

$$B_2 = 0,0308$$

\* = significativo a 5% de probabilidade

R = coeficiente de regressão múltipla

c - Para 75% da altura comercial

$$Db = B_0 + B_1 \cdot EP$$

$$R = 0,4689^{**}$$

onde,

$$B_0 = 0,0901$$

$$B_1 = 0,0958$$

Db = densidade básica

CF = comprimento das fibras

LF = largura das fibras

EP = espessura da parede das fibras

ET = porcentagem de extrativos totais

HO = teor de holocelulose

\*\* = significativo a 1% de probabilidade

R = coeficiente de regressão múltipla

4. Equações para a densidade básica do E. grandis

a - Para a espécie

$$Db = B_0 + B_1 \cdot LF + B_2 \cdot DL$$

$$R = 0,3870^{**}$$

onde,

$$B_0 = 0,9204$$

$$B_1 = -0,220$$

$$B_2 = -1,9624$$

R = coeficiente de regressão múltipla

b - Para 25% da altura comercial

$$Db = B_0 + B_1 \cdot LF + B_2 \cdot DL$$

$$R = 0,5570*$$

onde,

$$B_0 = 0,8197$$

$$B_1 = -5,7375$$

$$B_2 = -0,0217$$

R = coeficiente de regressão múltipla

c - Para a região interna

$$Db = B_0 + B_1 \cdot LF + B_2 \cdot DV$$

$$R = 0,5260*$$

onde,

$$B_0 = 0,7845$$

$$B_1 = -0,0206$$

$$B_2 = 8,0485$$

Db = densidade básica

LF = largura das fibras

DL = diâmetro do lúmen das fibras

DV = diâmetro de vasos

R = coeficiente de regressão múltipla

\*\* = significativo a 1% de probabilidade

\* = significativo a 5% de probabilidade

R = coeficiente de regressão múltipla

Analisando a equação geral, verifica-se que as maiores influências sobre a densidade são exercidas pelas dimensões comprimento, espessura da parede e diâmetro do lúmen das fibras. Dessa forma o modelo matemático mais adequado para estas variações foi o cúbico. A equação mostrou um coeficiente de regressão múltipla altamente significativo, porém tecnologicamente este valor é baixo. O comprimento, como mencionado anteriormente, parece não ter nenhuma relação direta com a densidade, ambos aumentam paralelamente dentro da árvore, resultando em correlações positivas nas análises de regressões. Dessa forma, as características que mais influenciam a densidade das espécies são a espessura da parede e o diâmetro do lúmen das fibras.

Quando se analisa as equações para as espécies podemos observar que a densidade é influenciada por características diferentes. A densidade básica do E. saligna mostrou ser função do comprimento, da largura e, principalmente, da espessura das fibras, onde o coeficiente de correlação múltipla foi altamente significativo para a equação que se ajustou melhor a um modelo matemático cúbico. A 25% da altura comercial as maiores influências sobre a densidade foram exercidas pelo comprimento e largura das fibras e a 75% exclusivamente pela espessura da parede.

Para a madeira de E. grandis, a densidade básica depende principalmente do diâmetro do lúmen e da largura das fibras. A equação obtida mostra um coeficiente de correlação múltipla altamente significativo. O modelo mais adequado às variações da densidade para esta espécie é o quadrático.

Devemos atentar para o fato de que a largura das fibras mostrou-se altamente correlacionada com a densidade básica da madeira, porém negativa para o E. grandis e positiva para o E. saligna. Sendo assim, os valores se anularam e esta característica não fez parte da equação geral para as espécies. A relação negativa para a densidade e largura das fibras é facilmente explicada considerando que a madeira de E. grandis mostrou espessura da parede das fibras semelhante àquela da madeira de E. saligna, porém maior diâmetro do lúmen. Consequentemente aumentaram-se os espaços vazios, diminuindo a sua densidade. Quando se mantém a espessura da parede constante seguido de um aumento no diâmetro do lúmen, podemos observar que os valores para largura das fibras serão elevados na mesma proporção, daí sua relação negativa com a densidade.

Frente aos resultados encontrados, constatamos que a espessura da parede e o diâmetro do lúmen das fibras são os fatores que exercem maiores influências sobre a densidade da madeira. Este resultado também foi

observado por OLIVEIRA et alii (1990) ao estudar as relações entre as características da madeira de E. grandis. Diante do caso analisado, onde as espessuras mostram-se semelhantes para as espécies E. grandis e E. saligna, conclui-se que a maior influência é exercida pelo diâmetro do lúmen. Porém, podem ser constatados casos em que tais observações não são possíveis. Sendo assim, a melhor forma para avaliar os efeitos desses parâmetros sobre a densidade é através da relação entre ambos, expressa pelo Índice de Runkel e, em outros casos, através da fração parede, que relaciona a espessura da parede da fibra e sua respectiva largura.

#### 4.10. Regressão linear para todas as características da madeira

As tabelas 18 e 19 mostram as relações existentes entre todas as características da madeira estudadas.

Tabela 18. Regressão linear para as características químicas e anatômicas - Valores de r (nível de significância 1%).

Correlações	CxE	LxDL	CxL	DLxET	CxDV	DVxZV	HDxLI	HDxET	HDxDL
Geral	0,7688	0,9248	-	-	0,6378	0,6769	-0,9292	-0,7879	-
Espécie	<u>E. saligna</u>	-	0,8786	-	-	-	-0,9319	-	-
	<u>E. grandis</u>	0,8941	0,9674	-	-	-	-0,9497	-0,8694	-
	<u>E. urophylla</u>	0,7312	0,9312	-	-	-	-0,9332	-0,8349	0,6492
Posição	RI	-	0,9432	-	-	-	-0,9372	-0,7472	-
	RE	0,8177	0,9485	-	-	0,8309	-0,9282	-0,8196	-
Altura	25% HC	0,8314	0,9140	-	-	0,6741	-0,9212	-0,8478	-
	75% HC	-	-	-	0,6620	0,6811	-0,9451	-0,7137	-
Espécie	ES 25% HC	-	-	-	0,7840	-	-0,9601	-	-
	ES 75% HC	-	0,8933	-	-	-	-	-	-
x	EG 25% HC	0,9077	0,9542	-	-	-	-0,9118	-0,8466	-
Altura	EG 75% HC	0,8728	0,9835	-	-	-	-0,9647	-0,8876	-
	EU 25% HC	0,9026	0,9545	-	-	-	-0,9437	-0,9549	-
	EU 75% HC	-	0,8685	-	-	-	-0,9881	-	-
Espécie	ES RI	-	0,9589	-	-	-	-0,9650	-	-
	ES RE	-	0,8984	-	-	-	-0,8708	-	-
x	EG RI	-	0,9764	-	-	-	-0,9561	-0,8720	-
Posição	EG RE	0,9144	0,9896	-	-	0,8505	-0,9554	-0,8717	-
	EU RI	-	0,9544	-	-	-	-0,9332	-0,8461	-
	EU RE	0,8954	0,9563	-	-	0,8743	-0,9374	-	-

C = comprimento das fibras

L = largura das fibras

E = espessura da parede

DL = diâmetro do lúmen

DV = diâmetro dos vasos

HD = porcentagem de holocelulose

LI = porcentagem de lignina

ET = extrativos totais

ES = E. salignaEG = E. grandisEU = E. urophylla

RI = região interna

RE = região externa

Tabela 19. Regressão linear para as características químicas e anatómicas - Valores de r (nível de significância 5%).

Correlações	CxE	LxDL	CxL	DLxET	CxDV	DVxZV	HOxLI	HOxET	HOxDL
Geral	-	-	0,5311	-	-	-	-	-	-
Espécie									
<u>E. saligna</u>	0,6697	-	-	-	-0,6488	0,6589	-	-	-
<u>E. grandis</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>E. urophylla</u>	-	-	-	-0,6429	-	0,6467	-	-	-
Posição									
RI	-	-	-	-	-	0,6143	-	-	-
RE	-	-	0,6206	-	-	-	-	-	-
Altura									
25% HC	-	-	-	-0,6113	0,6386	-	-	-	-
75% HC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Espécie x Altura									
ES 25% HC	-	-	-	-	0,7840	-	-	-	-
ES 75% HC	-	-	-	-	-	-	-0,8304	-	-
EG 25% HC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EG 75% HC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EU 25% HC	-	-	-	-0,7608	-	-	-	-	0,7621
EU 75% HC	-	-	0,7970	-	-	-	-	-	-
Espécie x Posição									
ES RI	-	-	-	-	-	0,8360	-	-	-
ES RE	-	-	-	-	-	-	-	-0,7949	-
EG RI	-	-	0,7823	-	-	-	-	-	-
EG RE	-	-	0,7628	-	-	-	-	-	-
EU RI	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EU RE	-	-	-	-	-	-	-	-0,8142	-

C = comprimento das fibras

L = largura das fibras

E = espessura da parede

DL = diâmetro do lúmen

DV = diâmetro dos vasos

HO = porcentagem de holocelulose

LI = porcentagem de lignina

ET = extrativos totais

ES = E. salignaEG = E. grandisEU = E. urophylla

RI = região interna

RE = região externa

Como podemos verificar, há alta correlação positiva entre largura e diâmetro do lúmen das fibras, e entre comprimento e espessura da parede, para as três espécies.

O comprimento das fibras só não mostrou correlação com o diâmetro do lúmen. Dessa forma, a fibra mais longa é a mais larga e com maior espessura da parede, conforme BARRICHELO (1979).

## 5. CONCLUSÕES

Através dos resultados observados podemos concluir que:

- Foram verificadas variações significativas para a densidade entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro da árvore nos sentidos longitudinal e radial.
- Todas as características da madeira diferiram significativamente entre as espécies, exceto os teores de holocelulose e lignina.
- A madeira de E. grandis se caracteriza por apresentar menor densidade básica e fibras de maior largura e maior diâmetro do lúmen. O E. saligna mostrou maior densidade e fibras com menor largura e maior diâmetro do lúmen. Para E. urophylla foram encontradas as fibras mais espessas.
- O número de características que mostram relações com a densidade é pequeno.

- As influências das características da madeira sobre a densidade estão ligadas à espécie e às regiões dentro da árvore, não podendo ser generalizadas para qualquer material.
  - A espécie que apresentou maiores correlações entre as características de sua madeira e a densidade foi o E. saligna. Para o E. urophylla não foram observadas correlações significativas.
  - As características que exerceram maiores influências sobre a densidade foram as anatômicas.
  - A espessura da parede e o diâmetro do lúmen das fibras exerceram maiores influências sobre a densidade básica da madeira, tanto nas regressões lineares quanto nas múltiplas.
- Das relações entre as dimensões das fibras, o índice de Runkel e a fração parede se correlacionaram positivamente com a densidade básica, porém com menor significância que as próprias dimensões das fibras.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, M.C.S. Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden. Botucatu, UNESP, 1987. 43 p.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Normas Técnicas. São Paulo, 1974.
- BARRICHELO, L. E. G. Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de Pinus caribaea Mor. Var. hondurensis Barr. e Golf. para a produção de celulose Kraft. Piracicaba, 1979. 167p. (Tese Livre-Docência).
- BARRICHELO, L. E. G. & BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. PRODEPEF. Série Divulgação, Brasília (13): 1-145, 1976.
- BARRICHELO, L. E. G. & BRITO, J. O. Variações das características da madeira de E. grandis e suas correlações com a produção de celulose. In: Congresso Anual da ABCP. São Paulo, 1977. p. 41-46.

- BARRICHELO, L. E. G. & BRITO, J. O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de E. grandis. In: Congresso Anual da ABCP. São Paulo, 1984.
- BARRICHELO, L. E. G. & FOELKEL, C. E.B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. *Silvicultura*, São Paulo, 8(28):732-3. Jan./Fev. 1983.
- BARRICHELO, L. E. G. & NARIYOSHI, A. H. Variação das características da madeira de eucalipto para diferentes espécies, idades e locais. In: Congresso Anual da ABCP, São Paulo, 1984. p. 385-99.
- BARRICHELO, L. E. G. et alii. Densidade básica e características das fibras de madeira de E. grandis. In: Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel. São Paulo, 1983 a. p. 113-125.
- BARRICHELO, L. E. G. et alii. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de Eucalyptus spp. *Silvicultura*, São Paulo, 8(28):726-31, 1983 b.
- BERLYN, G. P. Recent advances in wood anatomy - The cell walls in secondary xylem. *Forest Prod. Journal*, 14: 467 - 76, 1964.
- BRASIL, M. A. M. Variação da densidade da madeira entre e dentro de procedências de E. urophylla S. T. Blake. Botucatu, 1983, 95p. (Tese - Livre - docência - UNESP).

- CAMARGO, F. R. A. et alii. Caracterização tecnológica da madeira de povoamento de E. grandis Hill ex Marden. In: Congresso Anual de Papel e Celulose. São Paulo, 1987. p. 01-15.
- CARPIM, M. A. & BARRICHELO, L. E. G. Variabilidade da densidade da madeira de Eucalyptus spp. In: Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel. São Paulo, 1983. p. 127-37.
- CARPIM, M. A. et alii. Comparação das características da madeira de E. grandis e E. saligna de diferentes procedências. In: Congresso Anual da ABCP. São Paulo, 1985. p. 57-68.
- COPANT, - Comision Panamericana de Normas Técnicas. Maderas: Description de características generales, macroscópicas y microscópicas de la madera Angiospermae Dicotiledones. Argentina, COPANT 30:1-019. 1974.
- DAVIDSON, J. Variation, association and inheritance of morphological and wood characteres in a improvment programe for Eucalyptus deglupta. Thesis PhD. Australian University, 1972. 263 p.
- FOELKEL, C. E. B. et alii. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF, Piracicaba (2/3):65-74. 1971.

- FOELKEL, C. E. B. e BARRICHELO, L. E. G. Tecnologia de celulose e Papel. Piracicaba, USP-ESALQ-CALQ. 1975. 207 p.
- FOELKEL, C. E. B. et alii. Variabilidade radial da madeira de E. saligna. Silvicultura, São Paulo, 8(28): 728-91, 1983.
- GODDARD, J. G. & COLE, D. E. Variation in wood production of six year old progenies of selected slash pines. TAPPI 49(8):359-62. 1966.
- GONZAGA, J. V. et alii. Caracterização da qualidade da madeira de procedências de E. grandis introduzidas na região de Guaíba-RS. In: Congresso Anual da ABCP, São Paulo, 1982. p. 103-24.
- GONZAGA, J.V. et alii. Qualidade da madeira e da celulose kraft branqueada de treze espécies de Eucalyptus. In: III Congresso Latino Americano de Celulose e Papel, V 1. 1983. p. 7-29.
- HIGGINS, H. G. et alii. The density and structure of hardwoods in relation to paper surface characteristics and other properties. TAPPI, 56(8):127-31, 1973.
- KELLOGG, R. M. & J. S. GONZALEZ. Relationships between anatomical and sheet properties in western hemlock Kraft pulps. Part I. Anatomical relationships. Western Forest Products Laboratory, Vancouver. 1976. 4p.

- KIBLEWHITE, R. P. & J. A. LLOYD. Interrelations between the wood, fibre and Kraft properties of new-crop radiato pine corewood and slabwood. FRI Bulletin, Roturua, (45):1-26, 1983.
- KOCH, P. Utilization of the Southern Pines. Washington, U. S. Department of Agriculture Forest Service. Washington, 1972. 734p.
- KOCH, P. Utilization of hardwoods growing on southern Pine sites. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Washington, 1985. V1 1418 p.
- MAEGLIN, R. P. Natural variation of tissue proportions and vessel and fiber length in mature northern red oak. Silvae Genetica, Frankfurt, 25(3-4):112-6. 1976.
- MEGRAW, R.A. Wood quality factors in loblolly pine. Atlanta, Tappi Press, 1985. 102 p.
- MEIER, H. General chemistry of cell walls and distribution of the chemicals constituents across the wall. In: The formation of wood in forest trees (M. H. Zimmermann, ed.), N. York, Academic Press, p. 137 - 51, 1964.
- NICHOLLS, J. W. Tracheid cell dimensions and density relationships for normal and abnormal wood of Pinus radiata D. Don. Australian Forest Research, Melbourne, 14(2):85-98. 1984.

- OLIVEIRA, E. et alii. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* (W. Hill - ex-Maiden). Boletim Técnico, Viçosa (2):1-9, 1990.
- PANSHIN, A. J. e DE ZEEUW, C. Textbook of wood technology. New York, McGraw-Hill, 1970. 105 p.
- SCARAMUZZI, G. The relationships of fibre wall thickness, fibre diameter and percentage of summer wood (late wood) to specific gravity. Melbourne, Csiro, 1965. p. 127-37.
- SENAI/IPT Celulose e papel: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. São Paulo, SENAI, 1988. V1.
- SMITH, W. J. Tracheid length and micellar angle in hoop pine (*Arauc. cunninghamii* Art). Their variation, relationships and use as indicators in parent tree selection. Report number 8, Queensland Forest Service, Brisbane, 1959. p. 1-61.
- SOUZA, V. R. et alii. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. IPEF, Piracicaba (33):65-72. 1986.
- STAMM, A.J. & SANDERS, H.T. Specific gravity of the wood substance of loblolly pine as affected by chemical composition. TAPPI, 49(9): 397-400. 1966.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial dos constituintes anatômicos e da densidade básica da madeira de oito espécies de eucalipto: Piracicaba, 1983, 102 p.

- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do E. saligna e E. grandis. IPEF, Piracicaba, (29): 37-45. 1985.
- TOMAZELLO FILHO, M. Formação e variação da estrutura de madeira de Eucalyptus. Piracicaba, ESALQ/CEF, 1988. 30 p.
- VAN BUIJTENEN, J.P. Anatomical factors influencing wood specific gravity of slash pines and the implications for the development for a high-quality pulpwood. TAPPI, 47(7): 401-404. jul., 1964.
- VAN BUIJTENEN, J.P. Inheritance of fiber properties in North American conifers. Meeting of IUFRO Sections. Melbourne, October, 1965. 12 p.
- VASCONCELLOS DIAS, R.L. & CLAUDIO-DA-SILVA JR., E. A influência da densidade básica da madeira de híbridos de Eucalyptus grandis em suas características químicas e propriedades de polpações e do papel. In: Congresso Anual da ABTCP, São Paulo, 1985. p. 31-55.
- VITAL, B. R. et alii. Influência do espaçamento na qualidade da madeira de E. grandis, aos 30 meses de idade. Revista Arvore, Viçosa, 5(2): 210 - 7, jul./dez. 1981.

WAHLGREEN, H. E. & SCHUMANN, D. R. Properties of major southern pines: part I. Wood density survey. USDA. Forest service FPL Research Paper, Madison, (176/177):1-57, 1972.

WILKES, J. Variations in wood anatomy within of Eucalyptus. Australia, IAWA Bulletin n. a., vol. 9(1): 13-23. 1988.

ZIMMERMANN, M. H. The formation of wood in forest trees. New York, Academic Press, 1964. 562 p.

ZOBEL, B. Inheritance of wood properties in conifera. Silvae genetica, Frankfurt, 10(3):65-70. mai/jun. 1961.

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. TAPPI, Atlanta 64(1):71-74, 1981.

ZOBEL, B. et alii. Wood properties on clones of slash pine. S. i. 8p.

**APENDICE**

Tabela 20. Valores da densidade básica no sentido longitudinal e radial para as 30 árvores tomadas ao acaso - E. grandis.

Árvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAF	25	50	75	100
1	RI	0,453	0,424	0,413	0,412	0,414	0,430
	RE	0,450	0,419	0,402	0,415	0,421	0,407
2	RI	0,490	0,479	0,462	0,463	0,455	0,455
	RE	0,484	0,473	0,468	0,460	0,457	0,441
3	RI	0,497	0,520	0,545	0,564	0,527	0,532
	RE	0,568	0,588	0,554	0,510	0,530	0,532
4	RI	0,476	0,473	0,467	0,465	0,454	0,448
	RE	0,479	0,478	0,467	0,466	0,445	0,455
5	RI	0,562	0,455	0,461	0,466	0,464	0,480
	RE	0,529	0,471	0,469	0,490	0,504	0,478
6	RI	0,499	0,491	0,486	0,470	0,448	0,452
	RE	0,503	0,485	0,480	0,471	0,458	0,447
7	RI	0,474	0,452	0,451	0,441	0,435	0,408
	RE	0,466	0,459	0,449	0,437	0,428	0,403
8	RI	0,508	0,489	0,486	0,478	0,473	0,476
	RE	0,512	0,493	0,487	0,478	0,482	0,470
9	RI	0,462	0,515	0,478	0,456	0,415	0,414
	RE	0,474	0,512	0,478	0,449	0,422	0,419
10	RI	0,529	0,477	0,472	0,503	0,494	0,524
	RE	0,592	0,507	0,495	0,496	0,562	0,517
11	RI	0,482	0,436	0,427	0,420	0,511	0,499
	RE	0,492	0,445	0,447	0,458	0,476	0,492
12	RI	0,505	0,466	0,466	0,489	0,492	0,509
	RE	0,551	0,499	0,506	0,526	0,529	0,503
13	RI	0,535	0,493	0,514	0,504	0,525	0,524
	RE	0,537	0,498	0,542	0,559	0,530	0,523

Continua

Tabela 20. Continuação.

Arvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
14	RI	0,526	0,491	0,480	0,482	0,409	0,401
	RE	0,516	0,487	0,475	0,472	0,402	0,406
15	RI	0,453	0,398	0,413	0,412	0,403	0,409
	RE	0,450	0,419	0,402	0,415	0,421	0,408
16	RI	0,500	0,510	0,463	0,427	0,394	0,403
	RE	0,497	0,503	0,467	0,398	0,407	0,405
17	RI	0,477	0,415	0,405	0,458	0,448	0,481
	RE	0,482	0,434	0,449	0,459	0,477	0,495
18	RI	0,451	0,413	0,409	0,439	0,456	0,452
	RE	0,501	0,468	0,461	0,483	0,465	0,450
19	RI	0,418	0,429	0,392	0,407	0,429	0,427
	RE	0,413	0,431	0,390	0,413	0,429	0,421
20	RI	0,523	0,515	0,500	0,485	0,405	0,412
	RE	0,522	0,517	0,499	0,492	0,423	0,412
21	RI	0,529	0,477	0,472	0,503	0,494	0,532
	RE	0,591	0,507	0,495	0,496	0,562	0,531
22	RI	0,543	0,481	0,496	0,478	0,458	0,447
	RE	0,517	0,449	0,454	0,467	0,428	0,451
23	RI	0,558	0,505	0,469	0,454	0,418	0,408
	RE	0,532	0,503	0,469	0,439	0,411	0,417
24	RI	0,581	0,561	0,538	0,520	0,491	0,516
	RE	0,580	0,558	0,544	0,521	0,529	0,521
25	RI	0,485	0,436	0,427	0,420	0,511	0,479
	RE	0,492	0,445	0,447	0,458	0,476	0,477
26	RI	0,563	0,533	0,545	0,564	0,527	0,527
	RE	0,534	0,524	0,554	0,510	0,530	0,528
27	RI	0,565	0,549	0,527	0,554	0,450	0,445
	RE	0,566	0,569	0,528	0,572	0,453	0,448
28	RI	0,549	0,529	0,524	0,508	0,491	0,495
	RE	0,563	0,524	0,517	0,509	0,487	0,489

Continua

Tabela 20. Continuação

Árvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
29	RI	0,478	0,460	0,429	0,416	0,400	0,401
	RE	0,474	0,448	0,442	0,410	0,399	0,407
30	RI	0,470	0,428	0,439	0,419	0,423	0,410
	RE	0,444	0,449	0,423	0,414	0,403	0,416

RI = região interna

RE = região externa

Tabela 21. Valores da densidade básica no sentido longitudinal e radial para as 30 árvores tomadas ao acaso - E. saligna.

Árvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
01	RI	0,488	0,396	0,430	0,449	0,454	0,482
	RE	0,526	0,472	0,479	0,483	0,486	0,486
02	RI	0,568	0,483	0,538	0,452	0,508	0,500
	RE	0,512	0,511	0,508	0,561	0,524	0,508
03	RI	0,546	0,439	0,454	0,489	0,512	0,499
	RE	0,467	0,516	0,526	0,524	0,508	0,509
04	RI	0,544	0,520	0,540	0,550	0,557	0,503
	RE	0,620	0,563	0,631	0,561	0,560	0,542
05	RI	0,455	0,448	0,479	0,485	0,458	0,466
	RE	0,589	0,477	0,519	0,511	0,502	0,488
06	RI	0,498	0,473	0,500	0,485	0,512	0,502
	RE	0,527	0,522	0,538	0,537	0,529	0,523
07	RI	0,512	0,467	0,447	0,508	0,508	0,508
	RE	0,568	0,519	0,538	0,561	0,524	0,468
08	RI	0,450	0,455	0,461	0,532	0,606	0,582
	RE	0,546	0,488	0,488	0,498	0,599	0,551
09	RI	0,467	0,439	0,450	0,488	0,512	0,511
	RE	0,546	0,503	0,526	0,523	0,507	0,506
10	RI	0,512	0,462	0,456	0,445	0,471	0,466
	RE	0,560	0,489	0,476	0,477	0,485	0,499
11	RI	0,504	0,453	0,458	0,452	0,457	0,498
	RE	0,573	0,535	0,528	0,525	0,514	0,488
12	RI	0,457	0,431	0,444	0,458	0,439	0,442
	RE	0,571	0,554	0,517	0,501	0,475	0,496
13	RI	0,543	0,491	0,497	0,507	0,498	0,495
	RE	0,603	0,580	0,582	0,578	0,545	0,499

Continua

Tabela 21. Continuação.

Arvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
14	RI	0,485	0,462	0,457	0,478	0,535	0,547
	RE	0,561	0,539	0,524	0,548	0,564	0,542
15	RI	0,474	0,430	0,443	0,452	0,449	0,460
	RE	0,510	0,459	0,474	0,468	0,470	0,462
16	RI	0,422	0,411	0,436	0,449	0,437	0,425
	RE	0,486	0,455	0,458	0,470	0,448	0,416
17	RI	0,563	0,504	0,518	0,523	0,547	-
	RE	0,629	0,565	0,604	0,627	0,582	-
18	RI	0,543	0,491	0,497	0,507	0,498	0,537
	RE	0,603	0,580	0,582	0,578	0,545	0,530
19	RI	0,513	0,503	0,509	0,551	0,542	0,562
	RE	0,567	0,570	0,581	0,581	0,594	0,554
20	RI	0,485	0,462	0,457	0,478	0,518	0,520
	RE	0,561	0,539	0,524	0,548	0,564	0,530
21	RI	0,445	0,396	0,430	0,449	0,454	0,422
	RE	0,526	0,488	0,479	0,483	0,486	0,456
22	RI	0,489	0,453	0,458	0,452	0,457	0,504
	RE	0,573	0,522	0,528	0,525	0,515	0,509
23	RI	0,487	0,393	0,440	0,428	0,476	0,471
	RE	0,531	0,528	0,507	0,496	0,515	0,470
24	RI	0,465	0,457	0,451	0,422	0,403	0,436
	RE	0,515	0,473	0,454	0,462	0,502	0,411
25	RI	0,598	0,447	0,457	0,473	0,491	0,528
	RE	0,610	0,584	0,547	0,528	0,540	0,515
26	RI	0,544	0,520	0,540	0,534	0,557	0,556
	RE	0,620	0,563	0,613	0,561	0,561	0,543
27	RI	0,588	0,431	0,444	0,458	0,438	0,414
	RE	0,468	0,554	0,504	0,501	0,479	0,418
28	RI	0,516	0,467	0,462	0,466	0,509	0,530
	RE	0,628	0,553	0,547	0,561	0,565	0,542

Continua

Tabela 21. Continuação

Arvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
29	RI	0,532	0,491	0,497	0,511	0,498	0,525
	RE	0,603	0,580	0,582	0,578	0,545	0,503
30	RI	0,462	0,434	0,445	0,447	0,450	0,507
	RE	0,586	0,561	0,510	0,541	0,521	0,503

RI = região interna

RE = região externa

Tabela 22. Valores da densidade básica no sentido longitudinal e radial para as 30 árvores tomadas ao acaso - E. urophylla.

Árvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
01	RI	0,528	0,482	0,494	0,493	0,481	0,500
	RE	0,614	0,571	0,562	0,579	0,545	0,504
02	RI	0,436	0,471	0,443	0,495	0,508	0,535
	RE	0,560	0,523	0,535	0,540	0,541	0,547
03	RI	0,532	0,455	0,481	0,515	0,518	0,519
	RE	0,606	0,499	0,534	0,518	0,519	0,506
04	RI	0,553	0,500	0,524	0,533	0,470	0,503
	RE	0,537	0,611	0,572	0,574	0,562	0,542
05	RI	0,494	0,468	0,467	0,509	0,466	0,501
	RE	0,565	0,496	0,522	0,526	0,513	0,507
06	RI	0,504	0,489	0,503	0,527	0,559	0,601
	RE	0,609	0,557	0,549	0,570	0,578	0,662
07	RI	0,468	0,456	0,438	0,458	0,480	0,488
	RE	0,467	0,451	0,436	0,471	0,473	0,499
08	RI	0,497	0,462	0,453	0,475	0,499	0,508
	RE	0,567	0,545	0,559	0,577	0,611	0,541
09	RI	0,539	0,455	0,472	0,496	0,537	0,523
	RE	0,503	0,481	0,508	0,498	0,502	0,527
10	RI	0,476	0,456	0,459	0,499	0,503	0,551
	RE	0,566	0,543	0,541	0,536	0,465	0,574
11	RI	0,524	0,509	0,537	0,614	0,509	0,529
	RE	0,597	0,551	0,591	0,599	0,598	0,584
12	RI	0,557	0,476	0,492	0,561	0,598	0,556
	RE	0,519	0,539	0,524	0,542	0,543	0,550
13	RI	0,499	0,473	0,462	0,541	0,535	0,540
	RE	0,548	0,533	0,535	0,569	0,568	0,570

Continua

Tabela 22. Continuação

Arvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
14	RI	0,479	0,450	0,442	0,489	0,472	0,485
	RE	0,558	0,470	0,496	0,499	0,497	0,485
15	RI	0,528	0,483	0,494	0,493	0,481	0,495
	RE	0,614	0,571	0,562	0,579	0,534	0,504
16	RI	0,510	0,526	0,533	0,578	0,556	0,550
	RE	0,556	0,536	0,557	0,568	0,566	0,560
17	RI	0,519	0,534	0,543	0,507	0,529	0,531
	RE	0,568	0,575	0,570	0,517	0,561	0,538
18	RI	0,484	0,474	0,460	0,462	0,482	0,508
	RE	0,557	0,535	0,520	0,493	0,491	0,468
19	RI	0,541	0,513	0,548	0,551	0,538	0,560
	RE	0,559	0,556	0,582	0,589	0,584	0,571
20	RI	0,527	0,555	0,533	0,604	0,571	0,578
	RE	0,572	0,596	0,619	0,667	0,619	0,600
21	RI	0,436	0,471	0,482	0,495	0,502	0,535
	RE	0,560	0,523	0,535	0,532	0,541	0,547
22	RI	0,532	0,455	0,481	0,515	0,518	0,511
	RE	0,606	0,499	0,534	0,518	0,519	0,506
23	RI	0,553	0,611	0,524	0,533	0,470	0,503
	RE	0,537	0,500	0,572	0,574	0,562	0,542
24	RI	0,494	0,468	0,462	0,509	0,466	0,496
	RE	0,565	0,496	0,522	0,526	0,513	0,516
25	RI	0,504	0,489	0,505	0,527	0,553	0,601
	RE	0,609	0,554	0,549	0,582	0,578	0,662
26	RI	0,468	0,456	0,438	0,458	0,480	0,488
	RE	0,467	0,460	0,436	0,471	0,473	0,499
27	RI	0,506	0,483	0,486	0,514	0,508	0,524
	RE	0,559	0,529	0,540	0,546	0,540	0,543
28	RI	0,497	0,468	0,453	0,475	0,453	0,475
	RE	0,567	0,545	0,559	0,577	0,559	0,577

Continua

Tabela 22. Continuação

Arvore	Região	Alturas (%)					
		Base	DAP	25	50	75	100
29	RI	0,532	0,455	0,472	0,503	0,533	0,523
	RE	0,503	0,481	0,508	0,498	0,502	0,527
30	RI	0,476	0,456	0,465	0,499	0,459	0,499
	RE	0,559	0,543	0,541	0,536	0,541	0,536

RI = região interna

RE = região externa

Tabela 23. Dimensões das fibras da madeira de E. grandis.

Valores das 6 árvores tomadas ao acaso.

Árvore	Altura (%)	Região	C	L	EP	DL
01	25	RI	0,93	20,5	4,3	11,8
		RE	1,07	19,9	4,5	10,9
	75	RI	0,87	19,7	4,2	11,3
		RE	1,03	18,7	4,3	10,0
02	25	RI	1,02	21,0	4,1	12,8
		RE	1,15	21,6	4,7	12,2
	75	RI	0,94	21,2	4,0	13,2
		RE	1,04	20,7	4,4	12,0
03	25	RI	0,97	20,2	4,1	11,9
		RE	1,05	18,7	4,3	10,0
	75	RI	0,84	19,0	4,1	10,8
		RE	1,04	17,8	4,2	9,3
04	25	RI	0,93	20,1	4,0	12,1
		RE	1,15	21,0	4,4	12,0
	75	RI	1,00	20,6	4,3	11,9
		RE	1,08	19,0	4,4	10,2
05	25	RI	0,91	18,5	3,8	10,9
		RE	1,02	17,9	4,3	9,2
	75	RI	0,93	19,8	3,9	12,0
		RE	0,96	20,1	4,1	11,7
06	25	RI	0,93	18,3	4,2	9,9
		RE	1,10	19,9	4,5	10,8
	75	RI	0,91	18,3	4,1	10,1
		RE	1,01	17,8	4,4	9,1

RI = região interna

RE = região externa

C = comprimento da fibra (mm)

L = largura da fibra ( $\mu\text{m}$ )EP = espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ )DL = diâmetro do lúmen da fibra ( $\mu\text{m}$ )

Tabela 24. Dimensões das fibras da madeira de E. saligna.

Valores para as 6 árvores tomadas ao acaso.

Arvore	Altura (%)	Região	C	L	EP	DL
01	25	RI	0,86	18,4	3,9	10,6
		RE	0,99	19,4	4,4	10,6
	75	RI	0,92	17,6	3,9	9,9
		RE	1,04	17,6	4,3	9,0
02	25	RI	0,86	19,0	4,0	11,1
		RE	0,97	18,2	3,8	10,5
	75	RI	0,88	18,5	4,0	10,6
		RE	1,09	17,4	4,2	9,1
03	25	RI	1,05	17,9	4,1	9,7
		RE	1,15	18,3	4,5	9,3
	75	RI	1,01	17,5	3,9	9,6
		RE	1,02	17,5	4,3	9,0
04	25	RI	1,02	19,7	4,3	11,1
		RE	1,10	18,7	4,2	10,3
	75	RI	0,94	17,3	4,0	9,4
		RE	1,01	20,1	4,3	11,4
05	25	RI	1,12	19,6	4,3	11,0
		RE	1,18	20,0	4,9	11,9
	75	RI	0,92	19,2	4,3	10,7
		RE	1,13	18,4	4,6	9,1
06	25	RI	0,89	19,2	4,0	11,1
		RE	1,03	20,0	4,6	10,7
	75	RI	1,06	18,5	4,3	0,9
		RE	1,13	19,2	4,8	9,6

RI = região interna

RE = região externa

C = comprimento da fibra (mm)

L = largura da fibra ( $\mu\text{m}$ )EP = espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ )DL = diâmetro do lúmen da fibra ( $\mu\text{m}$ )

Tabela 25. Dimensões das fibras da madeira de E. urophylla. Valores para as 6 árvores tomadas ao acaso.

Arvore	Altura (%)	Região	C	L	EP	DL
01	25	RI	1,01	20,5	4,3	12,0
		RE	1,11	21,1	4,6	11,9
	75	RI	0,89	18,9	4,3	10,4
		RE	1,01	20,8	4,6	11,6
02	25	RI	1,18	18,6	5,1	8,5
		RE	1,25	18,6	4,7	9,2
	75	RI	1,08	19,5	4,3	10,9
		RE	1,33	20,5	5,3	10,0
03	25	RI	1,03	20,1	4,4	11,3
		RE	1,22	21,9	5,1	11,7
	75	RI	0,88	18,5	4,3	9,8
		RE	1,02	20,3	4,4	11,5
04	25	RI	1,05	21,4	4,3	12,8
		RE	1,14	21,3	4,5	12,2
	75	RI	0,93	18,9	4,2	10,5
		RE	1,02	18,3	4,4	9,5
05	25	RI	0,91	18,7	4,3	10,1
		RE	1,11	18,3	4,7	8,8
	75	RI	0,98	19,1	4,4	10,3
		RE	0,99	18,7	4,7	9,4
06	25	RI	1,00	19,7	4,5	10,8
		RE	1,13	21,0	5,0	11,0
	75	RI	1,01	19,7	4,7	10,3
		RE	1,18	20,8	4,8	11,1

RI = região interna

RE = região externa

C = comprimento da fibra (mm)

L = largura da fibra ( $\mu\text{m}$ )

EP = espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ )

DL = diâmetro do lúmen da fibra ( $\mu\text{m}$ )

Tabela 26. Características dos vasos e composição química da madeira de E. grandis. Valores para as 6 árvores tomadas ao acaso.

Árvore	Altura (%)	Região	Vasos		Comp. Química (%)		
			DV	ZV	HO	LI	ET
01	25	RI	69	12,3	72,07	22,98	4,95
		RE	108	11,1	73,11	23,21	3,68
	75	RI	78	12,4	73,03	22,13	4,84
		RE	121	10,8	74,26	22,40	3,34
02	25	RI	84	12,4	72,15	22,62	5,23
		RE	94	12,0	73,52	22,82	3,66
	75	RI	102	11,6	72,77	22,55	4,68
		RE	116	10,4	74,15	21,18	4,67
03	25	RI	116	12,6	72,11	23,56	4,33
		RE	138	19,9	71,83	23,48	4,69
	75	RI	100	9,2	67,21	26,44	6,35
		RE	104	10,6	70,71	24,09	5,20
04	25	RI	91	13,2	71,33	24,22	4,45
		RE	154	14,6	69,02	25,96	5,02
	75	RI	84	13,8	71,15	23,86	4,99
		RE	105	12,0	71,32	24,46	4,22
05	25	RI	109	16,8	70,98	23,48	5,54
		RE	116	10,0	70,12	23,87	6,01
	75	RI	104	17,1	70,18	23,73	6,09
		RE	140	14,5	70,38	24,55	5,07
06	25	RI	115	13,5	71,78	23,54	4,68
		RE	106	9,2	71,53	23,87	4,60
	75	RI	109	10,9	71,91	24,03	4,06
		RE	84	8,1	71,44	23,98	4,58

RI = região interna

RE = região externa

DV = diâmetro de vasos ( $\mu\text{m}$ )

ZV = porcentagem de vasos

HO = holocelulose (%)

LI = lignina (%)

ET = extrativos totais (%)

Tabela 27. Características dos vasos e composição química da madeira de E. saligna. Valores para as 6 árvores tomadas ao acaso.

Árvore	Altura (%)	Região	Vasos		Comp. Química (%)		
			DV	%V	HO	LI	ET
01	25	RI	72	11,4	70,78	24,60	4,62
		RE	102	14,6	70,53	25,29	4,18
	75	RI	112	17,7	70,39	25,02	4,59
		RE	107	7,6	71,43	24,97	3,61
02	25	RI	106	13,0	72,12	23,74	4,15
		RE	83	9,6	72,05	23,44	4,52
	75	RI	102	13,4	70,23	24,16	5,62
		RE	124	13,0	70,99	23,41	5,61
03	25	RI	126	12,8	76,07	19,03	4,91
		RE	141	11,8	69,95	24,60	5,46
	75	RI	110	14,9	70,49	25,80	3,71
		RE	132	11,2	71,63	23,76	4,62
04	25	RI	104	9,8	70,91	23,91	5,18
		RE	109	9,0	71,81	24,86	3,34
	75	RI	76	7,9	71,23	23,86	4,91
		RE	110	10,3	71,37	24,12	4,52
05	25	RI	82	6,9	72,91	22,74	4,35
		RE	119	10,9	73,05	23,39	3,57
	75	RI	93	12,7	71,35	24,54	4,12
		RE	87	6,6	72,44	24,02	3,55
06	25	RI	70	7,8	71,06	24,09	4,85
		RE	120	10,9	73,22	23,04	3,75
	75	RI	116	13,3	72,08	24,46	3,47
		RE	115	10,5	73,94	22,24	3,83

RI = região interna

RE = região externa

DV = diâmetro de vasos ( $\mu\text{m}$ )

%V = porcentagem de vasos

HO = holocelulose (%)

LI = lignina (%)

ET = extrativos totais (%)

Tabela 28. Características dos vasos e composição química da madeira de E. urophylla. Valores para as 6 árvores tomadas ao acaso.

Árvore	Altura (%)	Região	Vasos		Comp. Química (%)		
			DV	%V	HO	LI	ET
01	25	RI	86	17,4	72,20	23,30	4,50
		RE	124	13,2	73,70	22,40	3,90
	75	RI	73	16,2	73,80	22,70	3,50
		RE	122	16,0	74,10	21,80	4,01
02	25	RI	102	14,4	69,90	23,50	6,60
		RE	134	14,5	73,10	22,60	4,30
	75	RI	102	13,5	69,40	26,10	4,40
		RE	142	17,5	70,50	25,30	4,20
03	25	RI	96	11,6	71,20	24,00	4,70
		RE	95	7,3	70,70	23,10	6,20
	75	RI	112	11,4	72,90	22,90	4,20
		RE	129	15,4	72,70	23,00	4,60
04	25	RI	130	14,8	72,60	22,70	4,60
		RE	139	16,1	72,80	23,20	4,00
	75	RI	94	12,0	73,20	22,30	4,50
		RE	131	15,9	73,30	22,10	4,60
05	25	RI	122	14,6	67,20	25,80	7,00
		RE	109	16,2	67,60	25,60	6,80
	75	RI	132	14,5	70,10	24,90	5,00
		RE	143	18,9	69,50	26,00	4,40
06	25	RI	112	13,7	71,00	23,60	5,40
		RE	103	13,7	71,90	24,30	3,70
	75	RI	114	13,7	71,10	24,70	4,20
		RE	128	13,6	71,10	25,00	3,90

RI = região interna

RE = região externa

DV = diâmetro de vasos ( $\mu\text{m}$ )

%V = porcentagem de vasos

HO = holocelulose (%)

LI = lignina (%)

ET = extrativos totais (%)