

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, ANATÔMICAS E
QUÍMICAS DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis*
Barr. e Golf. PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT**

Celso Foelkel

LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO
Professor Assistente Doutor do Departamento de
Silvicultura-ESALQ-USP

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Livre Docente

Piracicaba - São Paulo - Brasil
Junho, 1979

.ii.

Aos meus pais, Luiz Augusto e Jamile,
A minha esposa, Sonia Maria
Aos meus filhos, Renata, Luiz Fernando e Viviane

DEDICO

Engº JOSE CARLOS, meu irmão
Prof. ACARY, meu sogro,
HOMENAGEIO

AGRADECIMENTOS

No decorrer dos estudos necessários à elaboração da presente tese contamos com a colaboração valiosa de pessoas e organizações às quais consignamos nosso reconhecimento e gratidão.

- Ao Professor Dr. Helládio do Amaral Mello, Chefe do Departamento de Silvicultura e Diretor Científico do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, pelo apoio e estímulo constantes e confiança em nós depositada.

- Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico, pelas facilidades materiais proporcionadas através do Projeto "Pesquisa Tecnológica para a Melhoria da Qualidade do Pinho" (contrato USP-BNDE/FUNTEC nº 305/76).

- À Companhia Agro-Florestal Monte Alegre, nas pessoas dos Eng°s. Ftais. Francisco Bertolani e Norival Nicolielo, pela inestimável colaboração prestada na cessão e coleta do material necessário ao presente trabalho.

- À Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, pelo apoio emprestado aos trabalhos de computação eletrônica.

- Ao Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, pela colaboração e orientação dada nas análises estatísticas realizadas.

- Ao Dr. Mário Ferreira pelas sugestões e incentivos.

.iv.

- Aos colegas do Departamento de Silvicultura e do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, que direta ou indiretamente sempre procuraram colaborar, especialmente aos Eng°s Ftais. José Otávio Brito, Ivaldo Pontes Jankowsky e Eng° Agr° Mário Tomazello Filho.

- Aos funcionários, bolsistas e estagiários do Departamento de Silvicultura, pela colaboração recebida nas diversas fases do trabalho.

Involuntariamente, teremos omitido alguns nomes de outras pessoas que conosco colaboraram.

Nossos melhores agradecimentos a todos.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Principais características da madeira sob o ponto de vista tecnológico	3
2.1.1. Densidade da madeira	3
2.1.2. Características anatômicas dos traqueídeos	9
2.1.3. Lenhos inicial e tardio	11
2.1.4. Composição química da madeira	12
2.2. Principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose	14
2.3. A madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> como matéria-prima para a produção de celulose	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Material	28
3.2. Métodos	30
3.2.1. Densidade básica	30
3.2.1.1. Dos discos a diferentes alturas	30
3.2.1.2. Dos lenhos dos discos tomados a 1,2 m	31
3.2.2. Percentagem de lenhos e correlações	32
3.2.2.1. Percentagem em volume dos lenhos	33
3.2.2.2. Percentagem em peso dos lenhos	36
3.2.2.3. Correlações entre percentagens de lenho e densidade básica do disco	37
3.2.3. Dimensões dos traqueídeos	37
3.2.3.1. Mensurações e cálculos das relações	37
3.2.3.2. Correlações das dimensões entre si e com as densidades básicas dos lenhos	41
3.2.4. Análises químicas	41
3.2.5. Amostragem visando a produção de celulose	42
3.2.5.1. Madeira integral	42

3.2.5.2. Madeira juvenil, intermediária e adulta	43
3.2.6. Ensaios sobre a madeira juvenil, intermediária e adul_	
ta 3.2.6.1. Percentagem em volume e em peso das frações.	43
3.2.6.2. Relações entre as percentagens e correlações	43
3.2.6.3. Densidade básica dos cavacos das frações ...	44
3.2.6.4. Análises químicas	44
3.2.7. Produção de celulose	44
3.2.8. Desintegração e lavagem da celulose	46
3.2.9. Rendimento bruto	46
3.2.10.Depuração, percentagem de rejeitos e rendimento depu-	
rado	47
3.2.11.Determinação do número de permanganato	48
3.2.12.Refinação da celulose	48
3.2.13.Preparo de folhas	48
3.2.14.Determinação das resistências físico-mecânicas	49
4. RESULTADOS	51
4.1. Densidade básica da madeira	51
4.2. Densidades básicas e percentagens de lenho tardio	57
4.3. Dimensões dos traquídeos	58
4.4. Correlações entre as características	87
4.5. Composição química da madeira integral.....	90
4.6. Rendimentos e análises das celuloses	90
4.7. Madeira juvenil, intermediária e adulta	91
4.8. Rendimentos e análises das celuloses	94
4.9. Ensaios físico-mecânicos de resistência	94
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	119
6. RESUMO E CONCLUSÕES	134
7. SUMMARY AND CONCLUSIONS	140
8. BIBLIOGRAFIA	146
APÊNDICE	161

1. INTRODUÇÃO

O *Pinus caribaea* foi descrito em 1851 por A. Morelet.

BARRET e GOLFARI (1962) mencionam que esta espécie foi separada por Little e Dorman em *Pinus elliottii* Engelm, nome dado ao "slash pine" do sudeste dos Estados Unidos e *Pinus caribaea* Morelet para os pinos de Cuba, América Central e Bahamas .

Em 1962, aqueles autores concluíram um estudo morfológico e ecológico de populações desta espécie, comparando-as com aquelas típicas de Cuba. Como resultado das pesquisas efetuadas reconheceram três variedades desta espécie, a saber: *Pinus caribaea* var.*caribaea*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Esta última, objeto do presente estudo, tem como região de origem Honduras Britânicas, Guatemala, Honduras e Nicarágua. Ocorre desde o nível do mar até 850 m de altitude, em clima sub-tropical ou tropical ($20-27^{\circ}\text{C}$), regiões com precipitação anual desde 950 até 3.500 mm, com um período de seca de 2 a 6 meses, em solos ácidos (pH entre 4,0 a 6,5).

Foi introduzida no Brasil, ao lado de outras do mesmo gênero, visando atender à demanda de madeira de fibras longas em substituição à *Araucaria angustifolia*, cujas reservas vem se extinguindo rapidamente.

Segundo *BERTOLANI e NICOLIELO (1977)*, a espécie apresenta um excelente desenvolvimento, com um incremento volumétrico médio de 28 m³ sólidos, sem casca, por hectare e por ano, na região de Agudos-SP.

Um ponto, que tem sido questionado na sua utilização, é quanto à qualidade de sua madeira quando comparada com a de outras coníferas.

O fato das características da madeira ser variável, constitui o principal obstáculo para compreender seu uso tecnológico. Amostras de diferentes árvores da mesma espécie e mesmo diferentes partes de uma mesma árvore, podem diferir grandemente em termos de propriedades anatômicas, físicas e químicas. Quem desejar definir características médias ou normais de diferentes espécies, deverá reconhecer os tipos de variações e pontos extremos nas propriedades da madeira que cada espécie pode apresentar (*HALE, 1962*).

ZOBEL (1974) reforça este fato, afirmando que a qualidade de uma dada madeira, para um uso específico, só pode ser entendida após um conhecimento da sua variabilidade entre espécies e dentro da espécie.

O presente trabalho teve por objetivo o estudo das principais características da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e sua variabilidade, entre e dentro de árvores da mesma espécie, visando obter subsídios para sua adequada utilização. Por outro lado, procurou-se correlacionar as variações encontradas com a produção e qualidade da celulose kraft.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Principais características da madeira sob o ponto de vista tecnológico

Quando se objetiva a utilização de uma dada matéria-prima para a produção de celulose, uma série de propriedades devem ser observadas, destacando-se as seguintes: densidade, características anatômicas das fibras, proporções e características dos lenhos e composição química da madeira.

2.1.1. Densidade da madeira

Dentre as várias maneiras de se expressar a densidade da madeira, a mais usual é em termos de densidade básica, que é a relação entre o peso absolutamente seco* de amostra e respectivo volume verde ou saturado.

* Peso absolutamente seco é conceituado pela norma P2/70 da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (ABCP) como o peso da amostra isento de água. Isso é conseguido colocando-se a amostra na estufa à temperatura de $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ até peso constante.

do, segundo a norma M14/70 da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (ABCP).

Segundo KOCH (1972), embora a densidade seja uma medida grosseira, refletindo a somatória de numerosas variáveis dentro dos sucessivos anéis de crescimento, ela tem sido mais investigada que qualquer outra propriedade da madeira. Isso tem ocorrido porque a densidade afeta a resistência das peças de madeira e rendimento e qualidade da celulose e papel kraft.

Este fato é reforçado por diversos autores, destacando-se entre eles NAMKOONG *et alii* (1969), HORN (1974), KLEPPE (1970), ZOBEL e KELLISON (1971). Especificamente sobre as propriedades da celulose, VAN BUIJTENEN (1969) afirma que a densidade não possui uma influência direta, pelo fato da mesma ser dependente de uma série de outros fatores relacionados com as propriedades das fibras.

A densidade é, sobretudo, influenciada pelo comprimento e largura dos traqueídeos, proporção de lenhos inicial e tardio, quantidade e constituição dos extractivos, (KOCHE, 1972; WAHLGREN e SCHUMAN, 1972).

VAN BUIJTENEN (1964) estudando os fatores anatômicos e morfológicos, que influenciam a densidade, observou que a espessura das paredes das fibras do lenho tardio é a característica mais significativa, seguida pela percentagem de lenho inicial e largura das fibras do lenho tardio.

Por outro lado, GODDARD e COLE (1966), trabalhando com progenies selecionadas de *Pinus elliottii*, observaram que a densidade era afeta-

da pela percentagem relativa entre lenho inicial e tardio, espessura da rede celular e diâmetro do lúmen.

Madeiras de *Pinus caribaea*, de diferentes densidades, foram analisadas por *PALMER e GIBBS (1973)* que concluiram que, com o aumento da mesma, ocorria um aumento no comprimento e espessura das paredes das fibras. *PALMER e TABB (1971)*, generalizando suas observações, concluiram que, normalmente, se espera que madeira com alta densidade tenha fibras de paredes mais espessas que aquelas de baixa densidade.

MAEGLIN (1976) afirma que a densidade da madeira das coníferas é afetada, principalmente, pela espessura das paredes das fibras e proporção de lenhos inicial e tardio.

Observações discordantes das anteriormente citadas, são relatadas por *LEDIG et alii (1975)* que, trabalhando com *Pinus rigida*, concluiram que o comprimento de fibra era negativamente correlacionado com a densidade da madeira.

JACKSON e STRICKLAND (1962) e GUTH (1973/74) não encontraram correlação alguma entre comprimento de fibra e densidade.

Com respeito à composição química da madeira, *BYRD (1965)* encontrou correlação positiva da densidade com o teor de alfa-celulose da madeira e negativa com os teores de hemiceluloses e extractivos.

KOCH (1972) destaca correlações entre densidade e teores de extractivos, enquanto *PALMER e GIBBS (1973)* afirmam que, com o aumento da densidade, ocorre aumento no teor de alfa-celulose e diminuição no teor de

lignina.

Em última análise, a densidade é considerada o melhor índice, simples e seguro, da qualidade da própria madeira (*MITCHELL E WHEELER, 1959; PRONING e LASSEN, 1970; FARR, 1973; MAEGLIN, 1976*). Ela é um critério útil das características da madeira, de grande interesse tanto para tecnologistas como para engenheiros florestais, segundo *HEGER (1974b)*. Neste particular, *BARRICHELO e BRITO (1976)* ressaltam que o conhecimento da densidade básica e rendimento do processo permite prever o consumo de madeira por tonelada de celulose a ser produzida e, por conseguinte, a área a ser reflorestada para o abastecimento de uma indústria.

Uma série de vantagens e desvantagens são apresentadas por *NAMKOONG et alii (1969)* para madeiras de maior densidade, destacando-se entre elas, as seguintes:

1. Diminuem o manuseio e áreas de armazenamento;
2. Aumentam o rendimento de descascamento;
3. Aumentam o custo de picagem;
4. Aumentam o rendimento por digestor descontínuo;
5. Aumentam o rendimento por unidade de volume de madeira;
6. Diminuem o tempo de moagem necessário para se atingir um determinado grau de refinação da celulose;
7. Diminuem as resistências à tração e ao arrebentamento da celulose;

8. Aumentam a resistência ao rasgo da celulose;

9. Diminuem o peso específico aparente da folha de celulose.

Dentre as diversas alternativas para classificar a madeira quanto à densidade, uma das mais atuais e completas é a adotada pelo *FOREST PRODUCTS LABORATORY (1973)*, como mostrado a seguir:

Intervalos da densidade (g/cm^3)	Descrição da madeira
< 0,20	Extremamente leve
0,20 - 0,25	Excessivamente leve
0,25 - 0,30	Muito leve
0,30 - 0,36	Leve
0,36 - 0,42	Moderadamente leve
0,42 - 0,50	Moderadamente pesada
0,50 - 0,60	Pesada
0,60 - 0,72	Muito pesada
0,72 - 0,86	Excessivamente pesada
> 0,86	Extremamente pesada

A classificação de uma dada madeira, dentro deste critério, deve ser feita com relativa cautela pois, como destaca *KOCH (1972)*, a densidade varia significativamente entre árvores e mesmo dentro da árvore, longitudinalmente com a altura e radialmente entre a medula e a casca.

CHITTENDEN et alii (1967), PALMER e GIBBS (1972) e WORRAL

et alii (1977) encontraram elevadas variações, entre árvores, para a madeira de *Pinus caribaea* plantados em Fiji.

Todavia, para coníferas, a preocupação maior tem sido para se analisar as variações que ocorrem dentro das árvores que, normalmente, são mais significativas que entre árvores.

PANSHIN e DE ZEEUW (1970) apresentam os principais modelos de variação longitudinal que são:

- a. decrescente uniformemente com a altura;
- b. decrescente até o meio de tronco e crescente deste ponto até o topo;
- c. crescente da base para o topo, não obedecendo a um padrão uniforme de variação.

O modelo de variação longitudinal decrescente com a altura, tem se mostrado mais real para as espécies do gênero *Pinus*, segundo trabalhos de *HEGER* (1974a), *WAHLGREN e FASSNACHT* (1959), *AMARAL et alii* (1977), *MILLER* (1959), *SELLERS* (1962), *JOHNSTONE* (1970) e *PEARSON e GILMORE* (1971). Para outros gêneros de coníferas, como *Tsuga*, *Picea* e *Abies*, outros modelos de variação tem sido encontrados, conforme trabalhos de *HEGER* (1974a), *FARR* (1973), *HEGER* (1974b), *GUTH* (1973/74).

Quanto à variação radial, *PANSHIN e DE ZEEUW* (1970), afirmam que uma classificação geral pode ser feita dentro de quatro tipos:

Tipo 1. a densidade da madeira aumenta da medula para a casca;

Tipo 2. a densidade da madeira é alta na medula, decresce após os primeiros anos e aumenta em direção à casca;

Tipo 3. a densidade aumenta próxima à medula, permanecendo a seguir mais ou menos constante. Algumas vezes decresce nas últimas porções formadas próximas à casca;

Tipo 4. a densidade da madeira diminui da medula para a casca.

Trabalhos de *FERREIRA e FERREIRA* (1969), *GEARY e MACIA SANABRIA* (1973) mostram que a densidade geralmente aumenta no sentido medula-casca para as espécies do gênero *Pinus*.

Porém, este aumento não é uniforme, devido os diferentes tipos de lenhos que se sucedem, alternadamente, dentro dos anéis de crescimento.

2.1.2. Características anatômicas dos traqueídeos

Quando comparados com as folhosas, as coníferas se mostram mais uniformes e menos complexas, tendo como elementos estruturais fundamentalmente os traqueídeos* (*MAEGLIN, 1976*).

* Dentro da tecnologia de celulose normalmente não é feita uma distinção acadêmica entre "traqueídeo" e "fibra", sendo este último termo usado, indistintamente, tanto para folhosas como para coníferas.

O principal objetivo da investigação anatômica, segundo HUGHES (1971), é determinar a relação existente entre as características estruturais da madeira e seu uso. Como exemplo, as dimensões das fibras são indicações importantes das propriedades da celulose e sua adequação na fabricação de um determinado tipo de papel.

Entre as principais dimensões das fibras se destacam o comprimento, a largura, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede celular.

Estas quatro dimensões são consideradas fundamentais, destacando-se entre elas, o comprimento, que permite selecionar a madeira dentro de dois grupos conhecidos como "madeiras de fibras curtas", entre as quais se enquadram a maioria das folhosas, e "madeiras de fibras longas", características da quase totalidade das coníferas.

A partir das dimensões citadas, foram estabelecidas algumas relações, procurando correlacioná-las com as resistências e demais características da celulose. As principais relações, segundo FOELKEL (1973) e BARRICHELO e BRITO (1976), são: índice de enfeltramento, que é a relação entre comprimento e largura da fibra; coeficiente de flexibilidade, relação entre o diâmetro do lúmen e largura da fibra; fração parede, relação entre duas vezes a espessura da parede celular e largura da fibra; e índice de Runkel, relação entre duas vezes a espessura da parede celular e diâmetro do lúmen.

As inter-relações entre as características das fibras e demais parâmetros da madeira, bem como suas influências sobre as características da celulose, serão discutidas mais a frente.

A semelhança da densidade básica, as características das fibras, para uma dada espécie, variam dentro e entre árvores.

WHEELER et alii (1966) afirmam que qualquer seleção ou tentativa de modificação para se obter um produto final específico, deve ser precedida por extensivo conhecimento das relações anatômicas entre e dentro das árvores.

Tomando-se como exemplo o comprimento das fibras, *DUFFIELD (1964)* destaca que o mesmo aumenta da medula para a casca. As coníferas mostram dois modelos de variação nesse sentido: o primeiro, citado por Dadswell, em que há um aumento rápido e tendência para um valor constante, o que é uma característica do gênero *Pinus*. Um segundo, citado por Tredelenburg e Mayer-Wegelin, em que há um aumento paulatino, segundo um polinômio do 2º grau, de modelo $y = a + bx + cx^2$, onde y é o comprimento e x é o número do anel de crescimento, a partir da medula, característica das espécies dos gêneros *Picea* e *Abies*.

2.1.3. Lenhos inicial e tardio

Os lenhos inicial e tardio são também denominados, respectivamente, de madeira primaveril e madeira outonal, a primeira sendo formada durante o crescimento intenso da planta na primavera e verão, e a segunda, durante os períodos do ano de menor atividade vegetativa, que ocorre no outono e inverno.

Segundo o conceito de controle hormonal de *ZIMMERMANN e BROWN (1974)*, os fatores ambientais afetam a formação dos anéis de crescimento.

mento, através da auxina produzida durante o período de brotação e elongação das acículas. Fibras de lenho inicial resultam de elevados teores de auxina, produzida durante o crescimento intenso da planta. Cessando-se o período de brotação e elongação das acículas, resulta na produção de fibras de lenho tardio.

Devido o fato da estrutura dos anéis de crescimento ser coordenada com a fisiologia da planta, BOSSHARD e KUCERA (1973) propuseram os termos "zona inicial" e "zona final", com o objetivo de refletir o aspecto citado anteriormente, em vez de lenho inicial e tardio, que dá um enfoque cronológico na formação destes distintos tipos de madeira.

2.1.4. Composição química da madeira

Objetivando-se a produção de celulose, a composição química da madeira é encarada em termos de componentes fundamentais e acidentais. Os primeiros são parte integrante das paredes das fibras e lamela média, e importantes para caracterizarem a madeira como tal. São considerados componentes fundamentais, a celulose, as hemiceluloses e a lignina. O conjunto da celulose e hemiceluloses compõe a fração total dos polissacáideos da madeira e é denominada holocelulose. A porção da celulose de maior grau de polimerização e, portanto, de maior peso molecular, é chamada de alfa-celulose. É empiricamente conceituada como a fração da celulose que é insolúvel em solução a 17,5% de NaOH a 20°C. Da mesma forma, as frações solúveis são denominadas beta e gama-celulose, a primeira precipitável pela acidificação ou neutralização do meio. As hemiceluloses são classificadas de diferentes maneiras, sendo a mais difundida dentro

da tecnologia da madeira, como pentosanas e hexosanas (*RYDHOLM, 1965*).

Os componentes accidentais não são considerados importantes para a estrutura da madeira, podendo variar quali-quantitativamente entre gêneros e mesmo espécies. Entre estes, os mais importantes são os chamados extrativos, que se constituem naqueles componentes accidentais solúveis em água e solventes orgânicos neutros (*BROWNING, 1963*).

Visando a caracterização do ponto de vista químico a madeira é analisada através de uma série de ensaios, destacando-se os seguintes: teores de celulose (Cross & Bevan), holocelulose, alfa-celulose, pentosanas, lignina, cinzas; extrativos solúveis em água, álcool-benzeno, éter etílico, diclorometano, etc.

ZOBEL (1961) considera que a composição química, sob certos aspectos, é uma das mais importantes, porém a menos estudada das características da madeira.

Tal fato se explica, pois os estudos pioneiros de química da madeira, relacionados com a tecnologia da celulose, foram feitos por pesquisadores do hemisfério norte, para os quais, as coníferas são as principais matérias-primas. E são justamente para as coníferas que são encontradas as menores variações das propriedades químicas. Daí, segundo *DINWOODIE (1966)*, o porque da relativa ausência de estudos da composição química na determinação da qualidade da madeira e seus produtos.

2.2. Principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose.

O rendimento em celulose, segundo *FOELKEL* e *BARRICHELO* (1975) pode ser gravimétrico ou volumétrico. No primeiro caso, é expresso como a relação percentual entre a quantidade de celulose produzida e quantidade de madeira empregada, ambas expressas em termos de peso absolutamente seco. O rendimento volumétrico pode ser expresso de diversas maneiras, destacando-se entre elas, a quantidade de celulose produzida, expressa em peso absolutamente seco, por metro cúbico de madeira empregada ou por metro cúbico de digestor.

O estabelecimento dos principais parâmetros da madeira, diretamente relacionados com o rendimento em celulose, bem como suas correlações, tem sido objeto de estudo, há décadas. Apesar da maioria dos pesquisadores acreditar ser indiscutível a correlação positiva entre densidade e rendimento em celulose, ainda subsistem algumas dúvidas, pelo fato das experiências abrangerem, neste particular, um número restrito de coníferas.

Trabalho realizado por *COLE et alii* (1966) utilizando madeira de *P. elliottii*, *P. taeda* e *P. palustris*, mostrou que árvores com alta densidade forneceram rendimentos ligeiramente superiores, quando comparados com árvores de baixa densidade, sendo os mesmos baseados no peso seco dos cavacos. Quando o rendimento foi computado em bases volumétricas, árvores com alta densidade deram rendimento em celulose marcadamente superiores.

Zobel e Mc Elwee, citados por *ZOBEL et alii* (1960) encontraram pequena correlação entre densidade e rendimento em celulose, quando es-

te foi calculado em termos de peso seco da madeira.

De uma maneira geral, quando uma correlação é encontrada entre densidade e rendimento volumétrico a mesma tem se mostrado positiva e linear, como destacado por *PRONIN e LASSEN (1970)*.

Porém, *ZOBEL et alii (1978)* afirmam que, geralmente, o rendimento em celulose está intimamente relacionado com a densidade da madeira, mas uma progénie de alta densidade pode fornecer um rendimento bem maior do que aquele que sua densidade pudesse indicar. Tais resultados são ocasionalmente obtidos, confirmado que fatores outros, além da densidade, afetam o rendimento e mesmo a qualidade da celulose.

PALMER e GIBBS (1973) trabalhando com *Pinus caribaea* da Jamaica, observaram que madeiras com maior densidade forneceram um maior rendimento em celulose, o mesmo ocorrendo para o *Pinus taeda*, conforme relatado por *BLAIR et alii (1975)* com material colhido no sul dos Estados Unidos.

A par da preocupação com o rendimento, observa-se um interesse muito grande nos estudos relacionados com a qualidade da celulose, em termos de suas características de resistência. Tratando-se de coníferas utilizadas na produção de celulose kraft, entre as resistências fisico-mecânicas, destacam-se: resistências à tração, expressa em termos de comprimento de auto-ruptura, em metros, resistência ao arrebentamento, expressa como índice de arrebentamento, e resistência ao rasgo, expressa como índice de rasgo, segundo a norma T220os-71, da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). Em segundo lugar, outras propriedades da

celulose são importantes, destacando-se entre elas, o peso específico aparente, volume específico aparente e propriedades superficiais, como lisura e printabilidade.

Neste particular, a influência da densidade da madeira sobre as características da celulose, são menos controvertidas do que para rendimento. Com raras exceções, os autores consultados são unânimes em reconhecer que madeira de mais alta densidade produz celulose com maiores resistências ao rasgo, menores resistências à tração e ao arrebentamento, menores pesos específicos, maiores volumes específicos e menos lisas.

NAMKOONG et alii (1969) destacam que os *Pinus* do sul dos Estados Unidos possuem elevadas densidades. Como resultado produzem papel com excelente resistência ao rasgo, adequadas resistências à tração e ao arrebentamento e superfícies levemente ásperas. Por outro lado, papéis produzidos a partir de madeiras de *Picea* sp e *Pseudotsuga* sp, que apresentam baixa densidade, mostram elevadas resistências à tração e ao arrebentamento, resistências ao rasgo intermediárias e excelentes superfícies para impressão.

WATSON et alii (1971), trabalhando com coníferas de Queensland, observaram que, em geral, as propriedades do papel poderiam ser previstas a partir do conhecimento da densidade da madeira, aliada à determinação do comprimento dos traqueídeos.

Madeira de *Pinus taeda*, de diferentes densidades, foi utilizada por *BYRD (1965)*, tendo este autor encontrado correlações negativas deste parâmetro com as resistências à tração e ao arrebentamento, e positivas com

a resistência ao rasgo e peso específico aparente da celulose.

Resultados semelhantes foram relatados por VAN BUIJTENEN (1969), que observou que a diminuição da densidade da madeira se traduziu por um aumento nas resistências à tração e ao arrebentamento e redução na resistência ao rasgo.

UPRICHARD (1970) trabalhando com madeira de *Pinus patula* e *P. taeda* concluiu que, no geral, a resistência ao rasgo e volume específico aparente aumentam com a densidade, enquanto que as resistências à tração e ao arrebentamento diminuem com o aumento da densidade.

Trabalhos mostrando semelhantes modelos de variação foram desenvolvidos por PALMER e GIBBS (1973), com madeira de *P. caribaea*, FOELKEL et alii (1975), a partir de madeira de *P. elliottii* do sul do Brasil, e BLAIR (1975), com madeira de *P. taeda*.

Contrariando estes fatos COLE et alii (1966) observaram que a resistência ao rasgo parecia ser independente da densidade, quando produziram celulose de madeira de *Pinus alliottii*, *P. taeda* e *P. palustris*.

PALMER e GIBBS (1974) utilizaram madeira de *Pinus caribaea* de Sabah, obtida de árvores com nove anos de idade, para a produção de celulose kraft. Amostras de madeira, com densidades altas e baixas, foram cozidas separadamente e pequena correlação foi encontrada entre a densidade e características de resistência das celuloses.

Analizando a madeira de *Pinus taeda*, ZOBEL e RHODES (1955) chegaram à mesma conclusão.

LARSON (1957) destaca que, para *Pinus elliottii*, mais de 60% da variação total da densidade é devida à percentagem de lenho tardio da madeira.

Segundo *KLEM* (1958), acima de 50% da variação na densidade está diretamente ligada às variações nas percentagens de lenho tardio.

Resultados semelhantes foram encontrados por *MILLER* (1959), *DADSWELL e NICHOLS* (1959), *RISI e ZELLER* (1960), *SCHNIEWIND* (1961), *ZOBEL* (1961), *BARRICHELO e BRITO* (1978).

HILDEBRANDT (1962), todavia, destaca que a percentagem de lenho tardio nem sempre é uma indicação real da densidade, porque o lenho tardio pode consistir de fibras com diferentes espessuras de parede.

Devido a este fato, em alguns casos, a correlação com a densidade é mais real em termos de largura do anel, ou mesmo, número de anéis por polegada linear, segundo *SCHNIEWIND* (1961) e *CHANG e KENNEDY* (1967).

Mais recentemente, *WORRAL et alii* (1977) observando as propriedades das celuloses kraft de *Pinus caribaea* e suas relações com a densidade da madeira, somente a resistência ao rasgo se mostrou correlacionada.

Em alguns casos, como o relatado por *BAREFOOT e HITCHINGS* (1970), o rendimento total não pode ser explicado pelas variações da densidade ou parâmetros relacionados com a mesma, como é o caso da espessura das paredes dos traqueídeos. Para processos de alto rendimento, a percentagem de lenho tardio responde por cerca de 45% da variação do rendimento.

Depreende-se deste fato, que outros parâmetros de madeira das coníferas estão envolvidos na determinação de maior ou menor rendimento e qualidade, que pode ser conseguido a partir de uma determinada madeira. Dentre estes parâmetros, se destaca a percentagem de lenho tardio como um dos mais estudados.

Entre os trabalhos pioneiros, destaca-se o desenvolvido por JOHANSSON (1940), quando, trabalhando com madeira de *Pinus echinata*, encontrou uma correlação altamente significativa entre percentagem de lenho tardio e densidade.

MITCHELL (1956) concluiu que quanto maior for a proporção de lenho tardio em relação ao lenho inicial, dentro de cada anel de crescimento, maior é o rendimento em celulose.

BYRD (1965), GLADSTONE et alii (1970), GLADSTONE e IFJU (1974) estudando a celulose produzida a partir de madeira de lenho inicial e tardio de *P. taeda*, observaram um maior rendimento para lenho tardio. Na madeira, o lenho tardio se caracterizou por apresentar menor teor de lignina e maior teor de holocelulose.

A influência sobre as propriedades do papel das fibras obtidas dos tipos de lenhos de *Pinus taeda* e *P. radiata* foi investigada por WATSON e DADSWELL (1962), usando misturas desde 100% de lenho tardio até 100% de lenho inicial. As resistências físico-mecânicas, que dependem das ligações entre as fibras (resistências à tração, ao arrebentamento e dobradas duplas), foram melhores quando as folhas eram feitas com celulose de 100% de lenho inicial. As fibras do lenho tardio forneceram importante

contribuição quando a celulose era produzida a partir de madeira de *P. taeda*. Todavia, seus efeitos foram bem menores no caso da celulose de madeira de *P. radiata*.

JONES et alii (1966), através de centrifugação, separaram as celuloses dos lenhos inicial e tardio e observaram que a fração referente ao primeiro, produziu folhas densas, relativamente não-porosas, com alta resistência ao arrebentamento, baixa resistência ao rasgo e mais lisas que a celulose original da mistura. A fração de lenho tardio formou folhas volumosas, com baixa resistência ao arrebentamento e alta resistência ao rasgo.

BARRICHELO e BRITO (1978) trabalhando com os lenhos separados de *Pinus taeda*, para a produção de celulose kraft, chegaram praticamente às mesmas conclusões.

PALMER e TABB (1968) produzindo celulose e papel, a partir de madeiras de coníferas desenvolvidas nos trópicos, observaram que a resistência à tração da celulose é mais dependente da habilidade das fibras se ligarem entre si. Por outro lado, a resistência ao rasgo depende mais das resistências individuais das fibras em si.

Confirmado estes fatos, *SMITH e BYRD (1972)*, trabalhando com *Pinus taeda*, concluíram que, embora as fibras do lenho tardio sejam cerca de três vezes mais resistentes que aquelas do lenho inicial, elas formam folhas volumosas e fracas, enquanto que fibras do lenho inicial produzem folhas de alta resistência. Esta diferença básica no comportamento das fibras dos diferentes lenhos, responde pela maioria das diferenças nas pro-

priedades da celulose. De fato, devido ao colapso que sofrem e grande flexibilidade, as fibras do lenho inicial tendem a se compactar mais que as fibras do lenho tardio, resultando numa área maior de contacto e cruzamento de fibras que aquelas menos flexíveis do lenho tardio.

Contrariando o que se poderia esperar, FOELKEL *et alii* (1977), trabalhando com *Pinus elliottii*, observaram que as resistências da madeira integral nem sempre foram intermediárias às obtidas para as celuloses dos lenhos isolados. Explicaram o fenômeno pela diferença significativa no tipo de moagem das celuloses dos lenhos isolados. Assim, conduzir-se a celulose da madeira integral a um determinado grau de moagem não significa que todas as fibras estejam a este grau pré-estabelecido. O conjunto de fibras estará, por exemplo, a 40º Schopper Riegler, entretanto, as fibras do lenho inicial estarão a um valor menor, e as do lenho tardio, a um maior. Como a capacidade de desenvolver resistência em função da moagem é diferente para ambas, os valores encontrados para a celulose de madeira integral nem sempre são intermediários aos obtidos para as celuloses dos lenhos isolados.

BAREFOOT *et alii* (1964), trabalhando com *Pinus taeda*, observaram que, com exceção de rendimento, pelo menos 93% da variação das propriedades do papel pode ser atribuída à morfologia das fibras.

Sobre as dimensões das fibras, a espessura da parede dos traqueídeos do lenho tardio, foi o melhor parâmetro para se prever as propriedades do papel e responderam por, pelo menos, 74% da variação total. Entre as relações das dimensões das fibras, o índice de Runkel foi o melhor parâmetro e respondeu por até 58% da variação total das resistências ensaiadas.

das. Concluiram, ainda, que aquelas características que eram associadas com a densidade da madeira foram predominantes na determinação das propriedades do papel.

BYRD (1965), estudando as características da madeira de *Pinus taeda* e do papel kraft produzido, observou que o teor de lenho tardio era correlacionado positivamente com o teor de alfa-celulose e resistência ao rasgo. Por outro lado, a correlação se mostrou negativa com os teores de hemiceluloses, extractivos, tempo de moagem e peso específico da folha.

BAREFOOT et alii (1966), trabalhando com *Pinus taeda*, concluíram que os resultados obtidos mostravam que as propriedades da madeira e papel estavam fortemente correlacionados com as características morfológicas e físicas da madeira. De 60 a 95% da variação total no tempo de moagem, peso específico aparente, resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo, estavam correlacionadas com as dimensões das fibras do lenho tardio. A espessura das paredes das fibras do lenho tardio foi a mais importante delas, mas, algumas vezes, o comprimento das fibras foi um segundo fator de correlação.

ZOBEL e KELLISON (1971) salientam que a espessura da parede das fibras do lenho tardio, que é altamente correlacionada com a densidade da madeira, tem sido observada por um grande número de investigadores, como sendo a característica mais importante na determinação das propriedades da celulose e papel.

2.3. A madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* como matéria-prima para a produção de celulose

HUGHES (1971) afirma que o *Pinus caribaea* tem sido selecionado para estudos intensivos porque o mesmo produz madeira bastante útil e porque tem sido introduzido, com sucesso, como essência exótica em muitas regiões tropicais e sub-tropicais. Porém, em muitos locais o ritmo de crescimento tem sido muito maior do que na sua região de origem e o tipo de madeira produzida difere marcadamente, com reflexos nas suas propriedades intrínsecas e características de utilização. Como desvantagem, em algumas situações, a espécie produz madeira de qualidade e valor duvidosos, principalmente devido a sua baixa densidade e resistência.

A potencialidade do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, como matéria-prima para produção de celulose, é analisada por PALMER e TABB (1971), concluindo que sua celulose é semelhante à obtida de madeira de *Pinus* do sul dos Estados Unidos, mostrando uma melhor resistência ao rasgo. Porém, as resistências que dizem respeito às ligações das fibras entre si, são inferiores àquelas mostradas pelas celuloses obtidas de espécie do norte daquele país. Referindo-se a trabalho de Schafer e Chidester, Chittenden e Palmer e Ninck Blok, afirmam que as primeiras experiências têm mostrado que árvores velhas, ocorrendo naturalmente, produzem celulose com alta resistência ao rasgo, e, relativamente, baixas resistências à tração e ao arrebentamento. Citando trabalho de Palmer e Gibbs, ressaltam que plantações jovens mostram melhores resistências à tração e ao arrebentamento e piores resistências ao rasgo. Referindo-se a trabalhos de Fairest e Sanches, observam que celuloses de árvores com 14 anos, foram melhores que árvores com

5, 10 ou 17 anos. Finalmente, reportando-se a trabalho de Palmer e Feh, as severam que madeira de árvores com 6 anos de idade fornecem celulose com melhores resistência à tração, ao arrebentamento e pior resistência ao rasgo, o contrário ocorrendo com árvores de 12 anos. Valores intermediários foram encontrados a partir de madeira de árvores com 10 anos de idade.

LUCKHOFF(1964) afirma que uma série de testes foram conduzidos, em 1960, pela South African Pulp and Paper Industries Limited, utilizando material de desbaste com 9 a 11 anos de idade, de quatro localidades de Zululand, para a produção de celulose. Nestes estudos encontrou-se que a qualidade da celulose de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é bastante inferior àquela de madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. As resistências à tração e ao arrebentamento, de uma maneira geral, equivalem à obtida a partir de *P. elliottii* e *P. patula* se desenvolvendo na região, mas a resistência ao rasgo é bem inferior. Devido ao rápido crescimento da espécie é necessário utilizar suaves condições de cozimento. Devido a estes fatores, o autor concluiu que, ao que tudo indica, a madeira jovem de *P. caribaea* var. *hondurensis* desenvolvida sob as condições reinantes na África do Sul, é inadequada para a produção de celulose química.

PALMER e PEH (1966) analisando espécies exóticas da Malaia, incluindo entre elas o *P. caribaea* var. *hondurensis*, constataram que o rendimento em celulose de todas as amostras era baixo e a qualidade era inferior às celuloses comerciais usadas como comparação. Dentro das amostras examinadas, de um modo geral, as resistências das celuloses obtidas de árvores mais velhas eram menores que aquelas provenientes de amostras mais novas. Por outro lado, as amostras obtidas de árvores de baixo crescimento

eram inferiores àquelas de alto rendimento.

PALMER e GIBBS (1967), produzindo celulose usando madeira proveniente de Sabah, observaram que o rendimento foi médio e que as resistências eram semelhantes às conseguidas a partir de madeira de *Pinus sylvestris*.

PALMER e TABB (1968) evidenciam que, desde que as celuloses produzidas a partir de coníferas, que se desenvolvem nos trópicos, são, usualmente, de qualidade inferior às celuloses provenientes de madeiras de espécies temperadas, seria imprudente garantir que a produção excedente para as necessidades locais possa ser vendida facilmente no mercado mundial, pelo menos enquanto persista uma condição de superprodução. Destacam aqueles autores que os resultados obtidos indicam que as coníferas tropicais não produzem celuloses tão resistentes como as temperadas.

Produzindo celulose de madeira proveniente de Fiji, *PALMER e GIBBS (1968)* constataram que as melhores celuloses obtidas eram equivalentes, ou levemente inferiores, às celuloses não-branqueadas comerciais do *Pinus* do sul dos Estados Unidos. Concluiram que as celuloses seriam apropriadas para muitos tipos de papel kraft para uso local.

Da mesma forma *PALMER e GIBBS (1969)*, empregando madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de Trinidad, chegaram à conclusões semelhantes, quais sejam: baseando-se nos resultados obtidos, a espécie não se mostrou promissora para produzir celulose kraft não-branqueada, com propriedades de resistência de primeira classe. Ressaltam, todavia, que a madeira pode fornecer celulose utilizável numa empresa integrada para produção

de papel.

Utilizando coníferas de plantações de Queensland, *WATSON et alii* (1971), concluíram que as investigações feitas sobre as amostras de *P. caribaea*, que se desenvolve em vários países, tem indicado que considerável variação pode ser encontrada nas características da celulose e papel. Entretanto, continuam aqueles autores, os resultados inferiores registrados tem sido sempre obtidos a partir de celulose de árvores crescendo sob condições desfavoráveis. No geral, os resultados tem mostrado que madeira jovem de *Pinus caribaea* fornecem celulose de razoável qualidade.

Celulose não-branqueada com resistência ao rasgo relativamente alta, e moderadas resistências à tração e ao arrebentamento, foram conseguidas por *PALMER e GIBBS* (1971), a partir de amostras provenientes de *Pinus* do sul dos Estados Unidos.

Retomando amostras de madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* de Fiji, *PALMER e GIBBS* (1972) constataram que celulose não-branqueada de madeira de árvores jovens apresentaram melhores resistências que dependem das ligações entre as fibras (resistências à tração e ao arrebentamento). Amostras mais velhas forneceram celuloses com melhores resistências ao rasgo. Fazem menção, ainda, que observando-se a densidade da madeira, rendimento em celulose e resistências físico-mecânicas, pode-se recomendar um ciclo de rotação de cerca de 10 anos.

Experimento com madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* com 11,5 anos, é relatado por *SMITH* (1971) que registra ter obtido celulose de boa qualidade comparável a outras celuloses comerciais de fibras longas em

contradas no mercado.

PALMER e GIBBS (1974) analisaram as características da celulose, produzida a partir de madeira de *Pinus caribaea* de Sabah, e concluíram serem semelhantes àquelas obtidas de madeiras de *Pinus* do sul dos Estados Unidos. Quando comparados com celuloses escandinavas, mostraram ser inferiores quanto às resistências à tração e ao arrebentamento e similar ou levemente superiores quanto à resistência ao rasgo.

Conclusões semelhantes são relatadas por *PALMER e GIBBS* (1976) a partir de madeira colhida em Belize.

FOELKEL (1976) encontrou baixas resistências ao rasgo para a celulose kraft, quando comparada à obtida a partir de *Pinus elliottii*, *P. taeda* e *Aracauria angustifolia*. Por outro lado, comparativamente, a celulose de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou elevadas resistências à tração e ao arrebentamento.

Pesquisas levadas a efeito por *CORREA e LUZ* (1976) caracterizaram as diversas celuloses obtidas a partir de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na Amazônia, como susceptíveis de fornecerem papéis, se não de uma qualidade superior às coníferas do hemisfério norte, porém comparáveis a dos *Pinus* tropicais, que vem sendo utilizados em vários países em vias de desenvolvimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

O material utilizado no presente trabalho foi obtido de 10 árvores, da espécie *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret e Golfa-ri, com 16 anos, retiradas de povoamentos de propriedade da Cia. Agro-Flo-restal Monte Alegre, localizada no município de Agudos, Estado de São Pau-lo.

A região de coleta das amostras está localizada nas coordenadas de latitude $22^{\circ} 20'$ a $22^{\circ} 29'$ Sul e longitude de $48^{\circ} 51'$ a $48^{\circ} 49'$ Oeste de Greenwich.

A temperatura média mensal varia de $18,0$ a $23,6^{\circ}\text{C}$ e a anual é igual a $21,1^{\circ}\text{C}$. A precipitação média anual é 1.300 mm. Com base no sistema de Köeppen, o clima é do tipo Cwa.

O tipo de solo é latossol vermelho escuro, fase arenosa, segundo a COMISSÃO DE SOLOS (1960).

O talhão amostrado foi implantado em abril de 1961, a um espaçamento original de 2 por 2 m, numa área de 17,80 ha. Foram realizados 3 desbastes, em março de 1968, outubro de 1972 e setembro de 1975, sendo retiradas, respectivamente, 47%, 11% e 14% das árvores, baseando-se no número inicial.

A retirada das amostras foi feita em abril de 1977, quando o povoamento mostrava os seguintes dados dendrométricos:

- DAP médio 22,97 cm
- Altura média 19,07 m
- Área basal 28,29 m^2/ha
- Volume 198,1 m^3 sol./ha

Com base nas medições feitas sobre as árvores do povoamento, determinou-se a distribuição dos DAP. Em função da frequência de cada classe diametral foi feita a amostragem, visando-se manter uma proporção entre o número de árvores coletadas e as frequências de ocorrência dentro de cada classe.

De cada árvore selecionada foram retirados discos na base (altura de corte) e a cada 1,2 m até o limite comercial de diâmetro (6 cm).

Os discos obtidos, devidamente identificados, foram enviados ao laboratório para serem processados.

3.2. Métodos

3.2.1. Densidade básica

3.2.1.1. Dos discos a diferentes alturas

Para a determinação da densidade básica da madeira, a diferentes alturas, foram retiradas 2 cunhas opostas de cada disco, num total de 200 corpos de prova. Após a devida identificação, as cunhas foram manti das em água e sob vácuo intermitente, até atingirem a completa saturação. A seguir, foi empregado o método da balança hidrostática (Norma ABCP M14/70), que consiste em se determinar o peso imerso da cunha, e o seu peso úmido e peso absolutamente seco, equivalente ao peso constante após secagem em es tufa regulada a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

O cálculo da densidade básica é feito através da seguinte expressão:

$$d_b = \frac{PS}{PU-PI} \quad \text{onde}$$

d_b = densidade básica, em g/cm^3

PS = peso absolutamente seco da amostra, em g

PU = peso úmido da amostra, em g

PI = peso imerso da amostra, em g

A partir dos valores encontrados para cada posição, foram calculados os valores médios das densidades básicas, desvios padrões e coe ficientes de variação, além de se proceder a análise de variância e teste

Tukey.

Visando-se determinar o modelo matemático que explica a variação longitudinal da densidade básica, foram testadas 6 equações, como mostrado a seguir:

Modelo	Equação
1	$d_b = a + bH + cH^2$
2	$\log d_b = a + bH + cH^2$
3	$d_b = a + b/H$
4	$d_b = a + b \log H$
5	$\log d_b = a + b \log H$
6	$\log d_b = a + b/H$

onde,

d_b = densidade básica, em g/cm^3

H = altura, em m

a, b e c = parâmetros

Para cada modelo foi testada a significância, através do teste F, e determinados os coeficientes de correlação (r). A seleção do melhor modelo matemático foi feita através do índice de FURNIVAL (1961).

Para o modelo selecionado, foram estimados os valores dos parâmetros, seus erros padrões e significâncias.

3.2.1.2. Dos lenhos dos discos tomados a 1,2 m

Para a determinação da densidade básica dos lenhos inicial (madeira primaveril) e tardio (madeira outonal) foram sorteados 5 dos 10

discos tomados a 1,2 m de altura.

Foram retiradas cunhas e lixadas, para permitir a perfeita identificação dos lenhos. Após serem numerados de 1 a 15, no sentido medula-casca, foram separados, utilizando-se faca afiada.

Os corpos de prova foram mantidos em água, sob vácuo intermitente, até a completa saturação. O método de determinação empregado foi o do máximo teor de umidade (*FOELKEL et alii, 1971*), que consiste em se determinar o peso úmido da amostra e respectivo peso absolutamente seco.

O cálculo da densidade básica é feito através da seguinte expressão:

$$d_b = \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0,346} \quad \text{onde,}$$

d_b = densidade básica, em g/cm³

PU = peso úmido da amostra, em g

PS = peso absolutamente seco da amostra, em g

A partir dos valores encontrados, para cada tipo de lenho, foram calculados os valores médios das densidades básicas, desvios padrões e coeficientes de variação.

3.2.2. Percentagem de lenhos e correlações

Para a determinação da percentagem de lenho foram tomados 20 discos, ao acaso, entre os discos originalmente amostrados. Dos mesmos

foram retiradas cunhas e lixadas, para permitir a perfeita localização dos lenhos, de tal maneira que os mesmos se apresentassem total e completamente visíveis e com contornos nítidos.

3.2.2.1. Percentagem em volume dos lenhos

A partir das cunhas lixadas foram retiradas três cópias xerográficas, utilizando-se papel de gramatura e espessura uniformes.

Utilizando-se tesoura, foram separados os lenhos iniciais e tardios e pesados, separadamente, em balança analítica, com precisão de 0,1 mg.

A partir dos pesos obtidos, foram calculados as percentagens em volume de lenhos, inicial e tardio, através das seguintes expressões:

$$\% \text{ VLI} = \frac{\text{PLI}}{\text{PLI} + \text{PLT}} \cdot 100$$

$$\% \text{ VLT} = \frac{\text{PLT}}{\text{PLI} + \text{PLT}} \cdot 100$$

onde,

% VLI = percentagem em volume de lenho inicial

% VLT = percentagem em volume de lenho tardio

PLI = peso total do papel referente ao lenho inicial

PLT = peso total de papel referente ao lenho tardio

A justificativa do cálculo é apresentada a seguir:

A percentagem em volume, conceitualmente, é dada pela seguinte expressão:

$$\% V = \frac{V}{V} \cdot 100 \quad (1)$$

onde,

v = volume do lenho em apreço

V = volume total de ambos os lenhos

Porém:

$$v = s \cdot e_1 \quad V = S \cdot e_2 \quad (2)$$

onde,

s = área do lenho na amostra de papel

S = área total de ambos os lenhos

e_1 e e_2 = espessura da amostra de papel

Quando se toma a cópia xerográfica, usando-se um papel de espessura uniforme e constante, temos que:

$$e_1 = e_2 = e \quad (3)$$

Substituindo-se (2) e (3) em (1), temos:

$$\% V = \frac{s e_1}{S e_2} \cdot 100 = \frac{s e}{S e} \cdot 100$$

ou

$$\% V = \frac{s}{S} \cdot 100 \quad (4)$$

Por definição, gramatura de um papel é o peso por unidade de área e, segundo a norma ABPC P6/70, pode ser expressa por:

$$G = \frac{P}{S}$$

onde,

G = gramatura, em g/m^2

P = peso da amostra de papel, em g

S = área da amostra respectiva, em m^2

No presente caso temos:

$$G_1 = \frac{P}{S} \quad \text{e} \quad G_2 = \frac{P}{S} \quad (5)$$

onde,

G_1 = gramatura do papel referente ao lenho em questão

G_2 = gramatura do papel referente a ambos os lenhos

P = peso da amostra de papel referente ao lenho em questão

S = área do lenho em questão na amostra

S = área total de ambos os lenhos

Para um papel de gramatura uniforme:

$$G_1 = G_2 = G$$

Dai, resulta que:

$$G = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{S}{G}} \quad \text{ou} \quad \frac{S}{G} = \frac{P}{P} \quad (6)$$

Substituindo-se, finalmente, a expressão (6) em (1)

$$\% V = \frac{P}{P} \cdot 100$$

3.2.2.2. Percentagem em peso dos lenhos

Para esta determinação foram preparadas cunhas dos mesmos discos utilizados no ensaio anterior.

As cunhas foram lixadas de ambos os lados, de tal maneira que os anéis se tornassem total e completamente visíveis e que a espessura fosse uniforme.

Os lenhos foram separados utilizando-se faca afiada e agrupados os dois tipos entre si. A seguir, foram pesados separadamente e calculadas as percentagens em peso, através das expressões:

$$\% PLI = \frac{PLI}{PLI + PLT} \cdot 100$$

$$\% PLT = \frac{PLT}{PLI + PLT} \cdot 100$$

onde,

$\% PLI$ = percentagem em peso de lenho inicial

$\% PLT$ = percentagem em peso de lenho tardio

PLI = peso total do lenho inicial

PLT = peso total do lenho tardio

3.2.2.3. Correlações entre percentagens de lenho e densidade básica do disco

A partir dos valores encontrados para as percentagens em volume e em peso dos lenhos e as respectivas densidades básicas, ensaiadas conforme descrito em 3.2.1.1., procurou-se determinar as correlações existentes e equações das regressões.

3.2.3. Dimensões dos traqueídeos

3.2.3.1. Mensurações e cálculos das relações

Utilizando-se a mesma metodologia descrita em 3.2.1.2., os lenhos iniciais e tardios dos discos, tomados a 1,2 m, foram numerados de 1 a 15, no sentido medula-casca.

As amostras, num total de 150, foram maceradas individualmente, utilizando-se uma mistura de ácido nítrico conc. e ácido acético conc., na proporção de 1:5, durante 30 minutos, em banho-maria.

Após a remoção da mistura macerante por lavagem, os traqueídeos foram mantidos em suspensão, em água destilada.

A seguir, foram montadas lâminas, usando-se safranina para colorir os traqueídeos. Para cada amostra, foram preparadas 5 lâminas e medidos 5 traqueídeos por lâmina, num total de 25 por amostra.

Utilizando-se microprojetor foram medidos os comprimentos dos traqueídeos (C). Através de microscópio dotado de ocular, com escala

micrométrica, foram medidos largura do traqueídeo (L), diâmetro do lúmen (DL) e espessura da parede (E). O comprimento dos traqueídeos foi expresso em milímetros e as demais dimensões em micra.

A partir destes valores foram calculados os seguintes índices entre as dimensões das fibras:

a. Índice de enfeltramento (IE): relação entre o comprimento (C) e a largura (L) do traqueídeo;

$$IE = \frac{C}{L}$$

b. Coeficiente de flexibilidade (CF): relação entre o diâmetro do lúmen (DL) e a largura (L) do traqueídeo, expressa em percentagem;

$$CF = \frac{DL}{L} \cdot 100$$

c. Fração parede (FP): relação entre duas vezes a espessura da parede celular (E) e a largura (L) do traqueídeo, expressa em percentagem;

$$FP = \frac{2E}{L} \cdot 100$$

d. Índice de Runkel (IR): relação entre duas vezes a espessura da parede celular (E) e o diâmetro do lúmen (DL) do traqueídeo :

$$IR = \frac{2E}{DL}$$

Para cada anel foram calculadas as relações entre as dimensões dos traqueídeos e índices, anteriormente citados, entre o lenho tardio e o lenho inicial, a saber:

a. Relação (RC) entre o comprimento do traqueídeo do lenho tardio (CLT) e comprimento do traqueídeo do lenho inicial (CLI):

$$RC = \frac{CLT}{CLI} \cdot 100$$

b. Relação (RL) entre largura do traqueídeo do lenho tardio (LLT) e a largura do traqueídeo do lenho inicial (LLI):

$$RL = \frac{LLT}{LLI} \cdot 100$$

c. Relação (RDL) entre o diâmetro do lúmen do traqueídeo do lenho tardio (DLLT) e o diâmetro do lúmen do traqueídeo do lenho inicial (DLLI):

$$RDL = \frac{DLLT}{DLLI} \cdot 100$$

d. Relação (RE) entre a espessura da parede do traqueídeo do lenho tardio (ELT) e a espessura da parede do traqueídeo do lenho inicial (ELI):

$$RE = \frac{ELT}{ELI} \cdot 100$$

e. Relação (RIE) entre o índice de enfeltramento do traqueídeo do lenho tardio (IELT) e o índice de enfeltramento do traqueídeo do lenho tardio (IELI):

$$RIE = \frac{IELT}{IELI} \cdot 100$$

f. Relação (RCF) entre o coeficiente de flexibilidade do traqueídeo do lenho tardio (CFLT) e o coeficiente de flexibilidade do traqueídeo do lenho inicial (CFLI):

$$RCF = \frac{CFLT}{CFLI} \cdot 100$$

g. Relação (RFP) entre a fração parede do traqueídeo do lenho tardio (FPLT) e fração parede do traqueídeo do lenho inicial (FPLI):

$$RFP = \frac{FPLT}{FPLI} \cdot 100$$

h. Relação (RIR) entre o índice de Runkel do traqueídeo do lenho tardio (IRLT) e índice de Runkel do traqueídeo do lenho inicial (IRLI):

$$RIR = \frac{IRLT}{IRLI} \cdot 100$$

A seguir, foram calculados para as dimensões, índices entre dimensões dos traqueídeos e relações entre lenhos, os valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação.

Especificamente para comprimento e largura dos traqueídeos dos lenhos inicial e tardio, determinou-se o modelo matemático, que explica a variação radial no sentido medula-casca. Para tanto, foram testados 6 modelos, como mostrado a seguir:

Modelo	Equação
1	$C = a + b/A$ $L = a + b/A$
2	$C = a + bA + c A^2$ $L = a + bA + c A^2$
3	$C = a + b \log A$ $L = a + b \log A$
4	$\log C = a + b \log A$ $\log L = a + b \log A$
5	$\log C = a + b/A$ $\log L = a + b/A$
6	$\log C = a + bA + c A^2$ $\log L = a + bA + c A^2$

onde,

C = comprimento do traqueídeo (lenho inicial ou lenho tardio)

L = largura do traqueídeo (lenho inicial ou lenho tardio)

A = número do anel (1 a 15)

a, b e c = parâmetros

Para cada dimensão e modelo foi testada a significância, através do teste F, e determinados os coeficientes de correlação (r). A seleção do melhor modelo matemático foi feita através do índice de *FURNIVAL* (1961).

Para o modelo matemático selecionado foram estimados os valores dos parâmetros, seus erros padrões e significâncias.

3.2.3.2. Correlações das dimensões entre si e com as densidades básicas dos lenhos

A partir dos valores médios encontrados para as dimensões dos traqueídeos, índices entre as dimensões e densidades básicas dos lenhos (ítem 3.2.1.2.), procurou-se determinar as correlações existentes e equações de regressão linear.

3.2.4. Análises químicas

Para a realização das análises químicas, visando a caracterização

zação do material, foi feita uma amostragem sobre todos os discos tomados de todas as árvores.

O preparo final da serragem para ensaios consistiu na moagem do material, em moinho Wiley e classificação através de peneira, para se obter a granulometria exigida pelos diversos métodos.

O material foi submetido às seguintes análises:

- a. Solubilidade em água quente, segundo a norma ABCP M4/68;
- b. Solubilidade em álcool-benzeno, segundo a norma ABCP M6/68;
- c. Solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, segundo a norma ABCP M5/68;
- d. Teor de holocelulose, segundo *MOORE e JOHNSON (1967)*;
- e. Teor de lignina, segundo a norma ABCP M10/71;
- f. Teor de pentosanas, segundo a norma TAPPI T19m-50;
- g. Teor de cinzas, segundo a norma TAPPI T15m-58.

3.2.5. Amostragem visando a produção de celulose

3.2.5.1. Madeira integral

De todos os discos foram retiradas cunhas de 30^º e transformadas, manualmente, em cavacos de dimensões aproximadas: 25 x 15 x 3 mm. Os cavacos obtidos foram homogeneizados, acondicionados em sacos plásticos e identificados como "madeira integral".

3.2.5.2. Madeira juvenil, intermediária e adulta

Como decorrência das observações dos resultados, anteriormente conseguidos, para densidade básica e dimensões das fibras (ítem 3.2.1.2. e 3.2.3.1.) dos discos tomados a 1,2 m, os mesmos foram subdivididos em três frações a saber:

Fração A - aquela região do disco que incluía a medula até, e inclusive, o 5º anel de crescimento;

Fração B - aquela região do disco que incluía o 6º anel até, e inclusive, o 10º anel de crescimento;

Fração C - a região restante do disco, que incluía os anéis a partir do 11º anel de crescimento.

3.2.6. Ensaios sobre a madeira juvenil, intermediária e adulta

3.2.6.1. Percentagem em volume e em peso das frações

A metodologia empregada para determinação das percentagens em volume e em peso das frações A, B e C dos 10 discos, tomados a 1,2 m, foi idêntica àquela empregada para os lenhos, conforme descrito em 3.2.2.1. e 3.2.2.2.

3.2.6.2. Relações entre as percentagens e correlações

Para cada disco procurou-se estabelecer uma relação entre a percentagem em peso e a percentagem em volume, ou seja:

$$R = \frac{\% P}{\% V} \cdot 100 \quad \text{onde,}$$

R = relação entre a percentagem em peso e em volume dentro de cada fração (A, B ou C)

% P = percentagem em peso da fração baseada no disco todo

% V = percentagem em volume da fração baseada no disco todo

Considerando-se a percentagem em peso, como variável dependente, e a percentagem em volume, como variável independente, foram estabelecidas as correlações existentes e determinadas as equações de regressão para cada fração em si e para o disco todo.

3.2.6.3. Densidade básica dos cavacos das frações

Para a determinação da densidade básica dos cavacos das três frações obtidas foi empregado o método do máximo teor de umidade, conforme descrito em 3.2.1.2.

3.2.6.4. Análises químicas

As composições químicas das frações A, B e C foram determinadas segundo a metodologia descrita em 3.2.4.

3.2.7. Produção de celulose

Para a produção de celulose foi empregado o processo kraft, que se caracteriza pela composição do licor de cozimento, no qual os agentes de deslignificação são o hidróxido e sulfeto de sódio, resultando uma

celulose de cor relativamente escura e bastante resistente.

Para a realização dos cozimentos foi empregado um digestor rotatório, de aço inoxidável, capacidade para 20 litros e aquecido através de resistência elétrica.

Foram empregadas as seguintes condições, comuns a todos os cozimentos:

- a. Sulfidez (percentagem de sulfeto de sódio baseado nas quantidades de hidróxido e sulfeto, expressos como óxido de sódio) = 25%;
- b. Atividade (percentagem de hidróxido e sulfeto de sódio baseada nas quantidades de hidróxido, sulfeto e carbonato, expressos como óxido de sódio) = 100%;
- c. Relação licor-madeira (litros de licor de cozimento por quilograma de madeira absolutamente seco) = 5:1;
- d. Temperatura máxima de cozimento = 170⁰C;
- e. Tempo de aquecimento até 170⁰C = 2 h;
- f. Tempo a 170⁰C = 1 h.

A única variável introduzida foi o teor de álcali ativo (percentagem de hidróxido e sulfeto de sódio, como óxido de sódio, baseada na quantidade de madeira absolutamente seca), conforme mostrado a seguir:

- a. para madeira integral: álcalis ativos de 16, 18 e 20%;
- b. para madeira juvenil, intermediária, adulta: álcali ativo de 18%. Para

este particular os cozimentos foram conjuntos, utilizando-se recipientes de tela de aço inox para separar as diferentes amostras dentro do digestor, numa técnica semelhante à descrita por BARRICHELO e BRITO (1977).

3.2.8. Desintegração e lavagem da celulose

Findo cada cozimento o digestor era descarregado e a celulose removida; o desfibramento total era conseguido em desintegrador padrão, a 3.000 rpm, e a celulose completamente lavada. A seguir, era espremida, manualmente, até uma consistência de aproximadamente 30%.

3.2.9. Rendimento bruto

Rendimento bruto é a percentagem de celulose absolutamente seca produzida, baseada na quantidade de madeira absolutamente seca utilizada.

$$R_B = \frac{PSC}{PSM} \cdot 100 \quad \text{onde,}$$

R_B = rendimento bruto (%)

PSC=peso absolutamente seco de celulose, em g

PSM = peso absolutamente seco de madeira, em g

Para a determinação do mesmo, a celulose produzida era pesada e tomadas amostras para a determinação da umidade. A partir destes dois valores, era calculado o peso absolutamente seco de celulose produzida e relacionada com o peso absolutamente seco da madeira empregada.

3.2.10. Depuração, percentagem de rejeitos e rendimento depurado

Depuração é o termo empregado para a operação, que visa separar da celulose produzida, os rejeitos, que são feixes de fibras não desligadas, cavacos não cozidos, nós, etc.

Para esta finalidade foi empregado um classificador de fibra Brech-Holl dotado de tela de fenda de 0,5 mm de abertura.

Após terminada a depuração, os rejeitos eram recolhidos, secos em estufa até peso constante e pesados.

A seguir, era calculado a percentagem de rejeitos, através da expressão:

$$\% R_j = \frac{PSR}{PSM} \cdot 100 \quad \text{onde,}$$

% R_j = percentagem de rejeitos

PSR = peso absolutamente seco dos rejeitos, em g

PSM = peso absolutamente seco de madeira, em g

Finalmente, era calculado o rendimento depurado, através da expressão:

$$RD = RB - \% R_j \quad \text{onde,}$$

RD = rendimento depurado, em percentagem

RB = rendimento bruto, em percentagem

% R_j = percentagem de rejeitos

3.2.11. Determinação do número de permanganato

Por definição, número de permanganato é o número de mililitros de permanganato de potássio 0,1 N, necessário para reagir com um grama absolutamente seco de celulose, sob condições padronizadas. É normalmente empregado para se ter uma indicação do grau de deslignificação conseguido no cozimento, pelo fato de estar diretamente relacionado com o teor de lignina residual na celulose.

A determinação do número de permanganato foi feita empregando-se a norma ABCP C4/71.

3.2.12. Refinação da celulose

A refinação da celulose foi feita em moinho centrifugal Jokro, a diferentes tempos, visando-se conseguir diferentes graus de moagem, segundo a norma VZPCI/105.

Em cada operação foram empregados o equivalente a 16 gramas de celulose absolutamente secos e consistência de 5%.

3.2.13. Preparo de folhas

Para o preparo das folhas de celulose, destinadas aos ensaios físico-mecânicos, foi empregado formador e secador Kother-Rapid, segundo a norma VZPCI/108.

Para tanto, após cada tempo de moagem, a celulose era transferida para o desintegrador e, a seguir, para o homogeneizador, sendo o volume

completado para 8 litros.

A primeira alíquota de 1 litro era utilizada para a determinação do grau de moagem, expresso como grau Schopper-Riegler, segundo a norma ABCP/73. As restantes 7 alíquotas, de 1 litro cada, eram destinadas à confecção de folhas.

3.2.14. Determinação das resistências físico-mecânicas

Após serem climatizadas, em ambiente com condições padronizadas (umidade relativa do ar igual a $65 \pm 2\%$ e temperatura igual a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$), as folhas eram submetidas a testes físico-mecânicos, segundo a norma TAPPI 220 os-71, a saber:

- a. Resistência à tração, expressa como comprimento de suto-ruptura, em metros;
- b. Resistência ao arrebentamento, expressa pelo índice de arrebentamento;
- c. Resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo;
- d. Peso específico aparente, expresso em gramas por centímetro cúbico.

Para cada uma dessas resistências procurou-se determinar o modelo matemático, que explica a variação da resistência em função do grau de moagem. Para tal finalidade foram testados 7 modelos, como mostrado a seguir:

Modelo	Equação
1	$R = a + b SR$
2	$R = a + b SR + c SR^2$
3	$R = a + b \ln SR$
4	$R = a + b/SR$
5	$\ln R = a + b SR$
6	$\ln R = a + b \ln SR$
7	$\ln R = a + b/SR$

onde,

R = resistência físico-mecânica

SR = grau de moagem, expresso como ${}^{\circ}SR$

a , b e c = parâmetros

Para cada resistência e modelo, foi testada a significância, através do teste F , e determinados os coeficientes de correlação (r). A seleção do melhor modelo matemático foi feita através do índice de *FURNIVAL* (1961).

Para o modelo matemático selecionado foram estimados os valores dos parâmetros, seus erros padrões e significâncias.

4. RESULTADOS

4.1. Densidade básica da madeira

Os dados relativos às densidades básicas da madeira, nos sentidos longitudinal e radial, aparecem nas Tabelas 1 a 7.

Tabela 1. Densidades básicas, em gramas absolutamente secos por centímetro cúbico, dos discos das árvores tomados a diferentes alturas.

Altura (m)	árvore									Média	Desvio padrão	Coef. de Variação
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
0,30	0,450	0,468	0,486	0,486	0,500	0,483	0,449	0,443	0,455	0,466	0,469	0,0196
1,20	0,448	0,438	0,482	0,412	0,475	0,487	0,398	0,433	0,423	0,431	0,443	0,0204
2,40	0,433	0,429	0,425	0,395	0,453	0,443	0,379	0,429	0,392	0,413	0,419	0,0238
3,60	0,415	0,404	0,437	0,405	0,447	0,444	0,361	0,435	0,387	0,402	0,414	0,0275
4,80	0,428	0,390	0,438	0,416	0,455	0,424	0,377	0,414	0,377	0,382	0,410	0,0273
6,00	0,418	0,396	0,422	0,403	0,423	0,428	0,364	0,415	0,387	0,394	0,405	0,0201
7,20	0,411	0,383	0,431	0,376	0,428	0,440	0,376	0,421	0,391	0,391	0,405	0,0242
8,40	0,420	0,386	0,409	0,394	0,432	0,415	0,397	0,424	0,387	0,382	0,405	0,0177
9,60	0,412	0,382	0,418	0,385	0,437	0,414	0,388	0,426	0,409	0,369	0,404	0,0218
10,80	0,407	0,360	0,467	0,399	0,419	0,411	0,384	0,418	0,398	0,357	0,402	0,0315
												7,87

Tabela 2. Análise de variância para densidade básica dos discos das árvores a diferentes alturas.

Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Árvores	9	0,004289	21,34**
Posições	9	0,004756	23,66**
Resíduo	81	0,000201	
Total	99	C.V. = 3,39%	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Teste de Tukey:

- a. diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade = 0,021
- b. diferença mínima significativa ao nível de 1% de probabilidade = 0,024

Tabela 3. Equações testadas para explicar a variação longitudinal da densidade básica.

Modelo	F	r	IF
$d_b = a + bH + cH^2$	33,78**	0,6407**	0,024370
$\log d_b = a + bH + cH^2$	31,43**	0,6270**	0,009689
$d_b = a + b/H$	23,12**	0,4562**	0,024204
$d_b = a + b \log H$	20,38**	0,4336**	0,024508
$\log d_b = a + b \log H$	19,50**	0,4259**	0,009970
$\log d_b = a + b/H$	21,82**	0,4458**	0,009864

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

d_b = densidade básica (g/cm^3)

H = altura (m)

IF = índice de Furnival

Tabela 4. Análise de variância para o modelo $\log d_b = a + bH + cH^2$

Causa de Variação	G.L.	Q.M.	F
Ressagem	2	0,02038090	31,43**
Resíduo	97	0,00064840	
Total corrigido	99		C.V. = 6,69%

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\log d_b = a + bH + cH^2$

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	-0,336276	53,12**	0,006331
b	-0,015671	5,74**	0,002730
c	0,000984	4,05**	0,000243

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 6. Densidades básicas, em gramas a.s. por centímetro cúbico (volume verde), dos lenhos iniciais dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	0,352	0,500	0,492	0,434	0,349	0,425	0,0730	17,17
2	0,387	0,378	0,388	0,368	0,360	0,376	0,0121	0,38
3	0,344	0,331	0,364	0,349	0,344	0,346	0,0119	3,43
4	0,386	0,330	0,419	0,376	0,383	0,379	0,0319	8,43
5	0,381	0,358	0,413	0,355	0,349	0,371	0,0263	7,09
6	0,360	0,353	0,388	0,358	0,351	0,362	0,0150	4,14
7	0,374	0,372	0,408	0,376	0,366	0,379	0,0050	1,31
8	0,376	0,342	0,390	0,360	0,339	0,361	0,0219	6,05
9	0,377	0,312	0,408	0,350	0,332	0,356	0,0377	10,60
10	0,372	0,344	0,462	0,374	0,351	0,381	0,0473	12,44
11	0,349	0,322	0,400	0,368	0,362	0,360	0,0284	7,89
12	0,377	0,331	0,406	0,354	0,350	0,364	0,0288	7,92
13	0,388	0,342	0,425	0,368	0,354	0,375	0,0326	8,68
14	0,362	0,323	0,412	0,339	0,330	0,353	0,0360	10,20
15	0,356	0,330	0,407	0,343	0,348	0,357	0,0296	8,30

Tabela 7. Densidades básicas, em gramas a.s. por centímetro cúbico (volume verde), dos lenhos tardios dos discos tomados a 1,2.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	0,549	0,600	0,616	0,528	0,485	0,556	0,0534	9,61
2	0,616	0,599	0,631	0,580	0,518	0,589	0,0439	7,46
3	0,574	0,506	0,637	0,498	0,556	0,554	0,0564	10,18
4	0,640	0,795	0,686	0,592	0,679	0,678	0,0752	11,08
5	0,730	0,787	0,766	0,694	0,746	0,745	0,0355	4,76
6	0,688	0,780	0,670	0,650	0,634	0,684	0,0572	8,36
7	0,668	0,743	0,718	0,698	0,676	0,701	0,0307	4,38
8	0,776	0,795	0,712	0,667	0,730	0,736	0,0511	6,95
9	0,720	0,770	0,697	0,670	0,712	0,714	0,0367	5,15
10	0,728	0,746	0,753	0,690	0,708	0,725	0,0262	3,62
11	0,723	0,749	0,694	0,651	0,754	0,714	0,0426	5,97
12	0,740	0,725	0,704	0,654	0,642	0,693	0,0468	6,76
13	0,710	0,724	0,752	0,627	0,692	0,701	0,0468	6,68
14	0,740	0,731	0,650	0,625	0,672	0,684	0,0503	7,36
15	0,580	0,651	0,619	0,592	0,600	0,608	0,0277	4,56

4.2. Densidades básicas e percentagens de lenho tardio

Os resultados encontrados para as densidades básicas dos discos e respectivas percentagens de lenho tardio em peso e em volume, bem como as correlações entre eles, são mostrados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8. Densidade básica dos discos e respectivas percentagens de lenho tardio em peso e em volume.

Amostra	Densidade básica (g/cm ³)	Percentagem de lenho tardio	
		em peso	em volume
1	0,464	43,1	24,4
2	0,444	34,2	20,1
3	0,441	27,5	13,3
4	0,431	30,2	14,7
5	0,395	27,6	13,5
6	0,384	22,4	10,2
7	0,438	29,4	13,9
8	0,429	28,2	13,8
9	0,388	23,3	10,5
10	0,462	41,2	20,9
11	0,392	23,8	12,9
12	0,382	22,5	13,0
13	0,370	15,3	8,6
14	0,350	13,1	6,8
15	0,435	26,5	15,7
16	0,416	28,2	15,5
17	0,413	34,8	16,0
18	0,410	30,6	15,7
19	0,411	32,4	13,2
20	0,354	15,5	7,4

Tabela 9. Correlações entre densidade básica dos discos, percentagens de lenho tardio em peso e em volume.

Variável dependente (x)	Variável independente (y)	F	C.V.	r	a	b
Densidade básica	Perc. lenho tardio em peso	67,91**	3,79	0,8891**	0,3068	0,0037
Densidade básica	Perc. lenho tardio em volume	63,92**	3,88	0,8833**	0,3164	0,0067
Perc. lenho tardio em peso	Perc. lenho tardio em volume	133,00**	10,07	0,9385**	3,9263	1,6825

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

4.3. Dimensões dos traqueídeos

As Tabelas 10 a 33 apresentam os valores encontrados para as dimensões dos traqueídeos, índices e relações dos mesmos para os lenhos initial e tardio, dentro de cada anel de crescimento, dos discos amostrados a 1,2 m do solo.

As Tabelas 34 a 46 mostram as equações testadas para explicar as variações no sentido radial dos comprimentos e larguras dos traqueídeos dos lenhos initial e tardio; análises de variância para os modelos selecionados e as estimativas dos parâmetros.

Tabela 10. Comprimento dos traqueídeos, em milímetros, dos lenhos tardios
dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	2,7	2,5	2,4	2,3	2,1	2,4	0,2236	9,32
2	3,2	3,0	3,0	3,4	2,7	3,1	0,2608	8,52
3	3,6	3,8	3,5	3,7	3,5	3,6	0,1304	3,60
4	4,2	4,2	3,8	4,4	4,2	4,2	0,2191	5,27
5	4,8	4,6	4,1	4,5	4,4	4,5	0,2588	5,78
6	4,9	4,6	4,2	5,0	4,6	4,7	0,3130	6,72
7	5,0	4,9	4,2	4,6	5,0	4,7	0,3435	7,25
8	5,0	4,7	4,4	5,0	4,8	4,8	0,2490	5,21
9	5,0	4,6	4,3	5,1	5,0	4,8	0,3391	7,06
10	5,3	4,9	4,4	5,4	4,8	5,0	0,4037	8,14
11	5,3	4,8	4,4	5,1	5,2	5,0	0,3647	7,35
12	5,6	5,0	4,6	5,2	5,2	5,1	0,3633	7,10
13	5,8	5,2	4,1	5,5	5,1	5,1	0,6427	12,50
14	5,9	4,9	4,5	5,2	5,1	5,1	0,5119	10,00
15	5,5	4,9	4,6	5,1	5,1	5,0	0,3286	6,52

Tabela 11. Comprimentos dos traqueídeos, em milímetros, dos lenhos iniciais
dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desv. padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	2,6	2,6	2,5	2,6	2,0	2,5	0,2608	10,60
2	3,2	3,2	3,2	3,2	2,7	3,1	0,2236	7,21
3	3,5	3,6	3,2	3,6	3,0	3,4	0,2683	7,94
4	4,2	3,8	3,6	3,9	3,6	3,8	0,2490	6,52
5	4,2	4,5	3,9	4,1	3,9	4,1	0,2490	6,07
6	4,5	4,8	3,9	4,7	4,2	4,4	0,3701	8,37
7	4,7	4,8	4,3	4,4	4,4	4,5	0,2168	4,80
8	4,6	4,9	4,1	4,7	4,7	4,6	0,3000	6,52
9	4,8	4,7	4,1	4,7	4,5	4,6	0,2793	6,12
10	4,7	4,9	4,2	4,6	4,8	4,6	0,2702	5,82
11	5,1	4,9	4,4	4,7	4,8	4,8	0,2588	5,42
12	4,9	4,8	4,5	4,8	4,8	4,8	0,1517	3,19
13	4,8	5,0	4,3	5,1	4,9	4,8	0,3114	6,46
14	4,9	5,1	4,7	4,9	5,0	4,9	0,1483	3,02
15	5,0	4,6	4,5	5,2	4,8	4,8	0,2864	5,94

Tabela 12. Relações entre os comprimentos dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m..

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	104	96	96	88	105	98	6,9426	7,10
2	100	94	94	106	100	99	5,0200	5,08
3	103	106	109	103	117	108	5,8139	5,40
4	100	110	106	113	117	109	6,5345	5,98
5	114	102	105	110	113	109	5,1672	4,75
6	109	96	108	106	110	106	5,6745	5,36
7	106	102	98	104	114	105	5,9330	5,66
8	109	96	107	106	102	104	5,1478	4,95
9	104	98	105	108	111	105	4,8683	4,63
10	113	100	105	117	100	107	7,7136	7,21
11	104	98	100	108	108	104	4,5607	4,40
12	114	104	102	108	108	107	4,6043	4,30
13	121	104	95	108	104	106	9,4499	8,88
14	120	96	96	106	102	104	9,8995	9,52
15	110	106	102	98	106	104	4,5607	4,37

Tabela 13. Largura dos traqueídeos, em micra, dos lenhos tardios dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	39,3	36,7	38,2	36,0	36,4	37,3	1,3846	3,71
2	39,6	41,0	42,4	43,9	41,0	41,6	1,6316	3,92
3	42,9	42,5	44,1	43,8	45,4	43,7	1,1327	2,59
4	45,0	44,6	42,4	46,9	46,6	45,1	1,8055	4,00
5	46,9	43,6	45,8	46,6	48,2	46,2	1,7006	3,68
6	45,5	44,8	46,1	46,7	49,0	46,4	1,6053	3,46
7	45,3	45,0	43,9	45,3	49,0	45,7	1,9326	4,23
8	48,4	43,3	44,6	45,9	49,7	46,4	2,6452	5,70
9	48,6	43,6	46,8	47,6	50,6	47,4	2,5745	5,43
10	48,9	44,8	46,4	46,6	49,8	47,3	2,0224	4,28
11	48,2	45,8	45,3	46,5	49,2	47,0	1,6477	3,51
12	49,0	45,7	44,6	47,3	48,3	47,0	1,8185	3,87
13	48,3	44,3	44,4	47,5	48,8	46,7	2,1594	4,63
14	48,3	47,0	44,3	46,2	48,6	46,9	1,7398	3,71
15	47,9	46,7	46,2	47,4	47,2	47,1	0,6535	1,39

Tabela 14. Larguras dos traqueídeos, em micra, dos lenhos iniciais dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Cuef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	46,4	38,4	38,0	44,4	39,0	41,2	3,8792	9,41
2	48,5	46,1	42,8	43,1	41,1	44,3	2,9499	6,66
3	50,7	46,0	44,2	44,3	45,5	46,1	2,6633	5,77
4	54,6	44,3	46,4	45,5	46,9	47,5	4,0685	8,56
5	51,2	48,0	45,3	47,2	49,5	48,2	2,2434	4,65
6	52,5	50,1	46,9	48,2	49,8	49,5	2,1154	4,27
7	52,1	47,7	46,0	48,4	46,0	48,0	2,5026	5,21
8	54,0	48,8	45,3	47,1	47,8	48,6	3,2780	6,74
9	50,5	48,1	46,2	48,2	49,4	48,5	1,6084	3,32
10	54,5	49,6	47,3	48,7	48,9	49,8	2,7568	5,54
11	54,7	48,9	46,6	47,6	46,0	48,8	3,4976	7,17
12	52,0	46,0	47,1	47,5	51,0	48,7	2,6205	5,38
13	51,4	47,8	45,0	45,5	51,3	48,2	3,0635	6,36
14	52,7	50,3	46,6	47,2	50,3	49,4	2,5094	5,08
15	54,9	48,1	47,3	49,0	51,3	50,1	3,0630	6,11

Tabela 15. Relações entre as larguras dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	85	96	100	81	93	91	7,8422	8,62
2	82	89	99	102	100	94	8,5615	9,07
3	85	92	100	99	100	95	6,6106	6,94
4	82	101	91	103	99	95	8,6718	9,11
5	92	91	101	99	97	96	4,3589	4,54
6	87	89	98	97	98	94	5,3572	5,71
7	87	94	95	94	106	95	6,8337	7,18
8	90	89	98	97	104	96	6,1887	6,47
9	96	91	101	99	102	98	4,4385	4,54
10	90	90	98	96	102	95	5,2154	5,48
11	88	94	97	98	107	97	6,9065	7,14
12	94	99	95	100	95	97	2,7019	2,80
13	94	93	99	104	95	97	4,5277	4,67
14	92	93	95	98	97	95	2,5495	2,68
15	87	97	98	97	92	94	4,6583	4,94

Tabela 16. Diâmetro do lúmen, em micra, dos traqueídeos dos lenhos tardios
dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	21,6	19,2	20,8	21,3	19,1	20,4	1,1769	5,77
2	21,1	22,5	20,7	23,6	24,7	22,5	1,6769	7,45
3	23,5	21,5	24,5	25,3	25,5	24,1	1,6334	6,79
4	18,4	16,8	19,9	23,0	22,7	20,2	2,6913	13,35
5	19,3	16,9	20,7	21,2	21,3	19,9	1,8472	9,29
6	19,7	19,1	22,6	24,7	23,1	21,8	2,3681	10,84
7	19,0	17,6	21,4	25,1	23,5	21,3	3,0931	14,51
8	20,4	16,6	20,5	22,8	23,7	20,8	2,7523	13,23
9	19,6	16,0	21,8	21,9	23,5	20,6	2,9022	14,12
10	20,1	17,5	22,8	21,1	24,3	21,2	2,6015	12,30
11	20,5	18,4	22,5	22,0	23,3	21,3	1,9347	9,07
12	19,4	21,3	20,8	20,9	21,8	20,8	0,8961	4,30
13	17,9	22,0	22,2	23,9	22,4	21,7	2,2421	10,34
14	19,2	21,3	20,5	22,0	22,5	21,1	1,3019	6,17
15	22,4	23,0	23,8	24,3	23,7	23,4	0,7436	3,17

Tabela 17. Diâmetros do lúmen, em micra, dos traqueídeos dos lenhos iniciais dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coeff. de variação
	1	2	.3	4	5			
1	35,6	26,2	24,9	32,1	26,4	29,0	4,5982	15,83
2	34,5	34,0	27,3	25,1	27,4	29,7	4,2934	14,48
3	39,0	31,0	29,2	26,4	31,0	31,3	4,6874	14,97
4	38,2	26,1	31,7	29,9	27,5	30,7	4,7246	15,40
5	30,7	27,3	26,9	30,6	27,9	28,7	1,8336	6,39
6	33,0	33,4	29,8	28,1	28,3	30,5	2,5371	8,31
7	30,7	26,7	26,6	28,9	24,6	27,5	2,3484	8,54
8	34,1	30,0	27,7	30,1	27,1	29,8	2,7532	9,24
9	26,4	24,5	25,7	28,6	26,2	26,3	1,4923	5,68
10	34,8	30,2	29,0	32,7	28,8	31,1	2,5865	8,32
11	34,6	32,0	25,3	27,0	22,1	28,2	5,0611	17,95
12	29,8	28,4	32,1	25,0	26,7	28,4	2,7432	9,66
13	28,4	24,9	26,0	23,6	29,2	26,4	2,3499	8,89
14	27,8	33,2	27,5	25,5	25,3	27,9	3,1926	11,46
15	37,4	28,4	27,6	28,9	29,5	30,4	3,9966	13,16

Tabela 18. Relações entre os diâmetros de lúmen dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	61	73	84	66	72	71	8,6429	12,14
2	61	66	76	94	90	77	14,4499	18,67
3	60	69	84	96	82	78	13,9714	17,87
4	48	64	63	77	82	67	13,3304	19,96
5	63	62	77	69	76	69	7,0214	10,12
6	60	57	76	88	82	73	13,5941	18,72
7	62	66	80	87	96	78	14,2197	18,18
8	60	55	74	76	87	70	12,8957	18,32
9	74	65	85	77	90	78	9,7314	12,44
10	58	58	79	64	84	69	12,1573	17,72
11	59	58	89	82	105	79	20,1569	25,64
12	65	75	65	84	82	74	9,0388	12,18
13	63	88	85	101	77	83	14,0428	16,96
14	69	64	74	86	89	76	10,7642	14,12
15	60	81	86	84	80	78	10,4499	13,36

Tabela 19. Espessuras de parede dos traqueídeos, em micra, dos lenhos tardios dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	8,80	8,7	8,7	7,31	8,7	8,4	0,6387	7,57
2	9,2	9,3	10,8	10,2	8,1	9,5	1,0330	10,85
3	9,7	10,5	9,8	9,3	10,0	9,9	0,4393	4,46
4	13,3	13,9	11,2	12,0	11,9	12,5	1,1059	8,88
5	13,8	13,4	12,6	12,7	13,4	13,2	0,5119	3,88
6	12,9	12,8	11,8	11,0	13,0	12,3	0,8718	7,09
7	13,2	13,7	11,2	10,1	12,8	12,2	1,5017	12,31
8	14,0	13,4	12,1	11,5	13,0	12,8	1,0025	7,83
9	14,5	13,8	12,5	12,8	13,6	13,4	0,8019	5,97
10	14,4	13,6	11,8	12,8	12,8	13,1	0,9757	7,46
11	13,9	13,7	11,4	12,2	13,0	12,8	1,0455	8,14
12	14,8	12,2	11,9	13,2	13,2	13,1	1,1349	8,69
13	15,2	11,2	11,1	11,8	13,2	12,5	1,7263	13,81
14	14,6	12,8	11,9	12,1	13,0	12,9	1,0663	8,28
15	12,8	11,8	11,2	11,5	11,7	11,8	0,6042	5,12

Tabela 20. Espessuras de parede dos traqueídeos, em micra, dos lenhos iniciais dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	5,4	6,1	6,6	6,1	6,3	6,1	0,4416	7,24
2	7,0	6,0	7,8	9,0	6,9	7,3	1,1261	15,34
3	5,8	7,5	7,5	8,9	7,2	7,4	1,1032	14,95
4	8,2	9,1	7,4	7,8	9,7	8,4	0,9450	11,20
5	10,3	10,3	9,2	8,3	10,8	9,8	1,0134	10,36
6	9,7	8,4	8,6	10,1	10,8	9,5	1,0134	10,64
7	10,7	10,5	9,7	9,8	10,7	10,3	0,4919	4,78
8	10,0	9,4	8,8	8,5	10,4	9,4	0,7950	8,44
9	12,1	11,8	10,3	9,8	11,6	11,1	1,0085	9,07
10	9,8	9,7	9,2	8,0	10,0	9,3	0,8050	8,62
11	10,1	8,4	10,7	10,3	11,9	10,3	1,2617	12,27
12	11,1	8,8	7,5	11,3	12,2	10,2	1,9537	19,19
13	11,5	11,4	9,5	11,0	11,0	10,9	0,8044	7,39
14	12,4	8,6	9,5	10,9	12,5	10,8	1,7312	16,06
15	8,8	9,8	9,9	10,0	10,9	9,9	0,7463	7,55

Tabela 21. Relações entre as espessuras de parede dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	163	143	132	120	138	139	15,8335	11,37
2	131	155	138	113	117	131	16,9174	12,93
3	167	140	131	104	139	136	22,5544	16,56
4	162	153	151	154	123	149	14,9097	10,03
5	134	130	137	153	124	136	10,8766	8,02
6	133	152	137	109	120	130	16,4530	12,64
7	123	130	116	103	120	118	10,0150	8,46
8	140	142	138	135	125	136	6,6708	4,90
9	120	117	121	131	117	121	5,7619	4,75
10	147	140	128	160	128	141	13,5573	9,64
11	138	163	106	118	109	127	23,7844	18,76
12	133	139	159	117	108	131	19,8545	15,13
13	132	98	117	107	120	115	12,9499	11,28
14	118	149	125	111	104	121	17,3003	14,25
15	145	120	113	115	107	120	14,7309	12,28

Tabela 22. Índices de enfeltramento dos traqueídeos dos lenhos tardios dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	69	68	64	63	58	64	4,3932	6,82
2	81	73	71	78	66	74	5,8907	7,98
3	85	90	79	84	78	83	4,8683	5,85
4	93	93	89	93	90	92	1,9494	2,13
5	103	103	89	96	90	97	7,3007	7,56
6	108	103	92	106	93	100	7,4364	7,41
7	111	109	94	103	103	104	6,6332	6,38
8	103	109	98	110	96	103	6,3008	6,10
9	103	106	93	107	98	101	5,8566	5,78
10	108	109	96	115	97	105	8,2158	7,82
11	109	105	97	109	106	105	4,9193	4,68
12	113	109	103	110	109	109	3,6332	3,34
13	121	118	93	115	104	110	11,5629	10,49
14	122	104	101	113	106	109	8,4083	7,70
15	115	105	100	108	109	107	5,5045	5,12

Tabela 23. Índices de enfeltramento, dos traqueídeos dos lenhos iniciais
dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coeff. de variação
	1	2	3	4	5			
1	56	69	66	59	51	60	7,3280	12,17
2	67	70	74	74	65	70	4,0620	5,80
3	68	78	73	82	66	73	6,6933	9,12
4	76	85	78	85	78	80	4,2778	5,32
5	82	94	86	88	79	86	5,7619	6,72
6	87	95	83	98	85	90	6,5422	7,30
7	90	100	94	91	96	94	4,0249	4,27
8	85	100	90	100	98	95	6,7676	7,15
9	96	97	89	97	91	94	3,7417	3,98
10	87	99	90	93	97	93	4,9193	5,28
11	93	100	95	98	105	98	4,6583	4,47
12	94	104	96	102	95	98	4,4944	4,58
13	93	105	96	112	95	100	8,0436	8,03
14	93	102	101	103	99	100	3,9743	3,99
15	91	96	95	106	93	96	5,8052	6,03

Tabela 24. Relações entre os índices de enfeltramento dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	123	99	97	107	114	107	10,7703	9,97
2	121	104	96	105	102	106	9,2898	8,80
3	125	115	108	102	118	114	8,9051	7,84
4	122	109	114	109	115	114	5,3572	4,71
5	126	112	104	109	114	113	8,1854	7,24
6	124	108	111	108	109	112	6,8191	6,09
7	123	109	100	113	107	110	8,4735	7,68
8	121	109	109	110	98	109	8,1425	7,44
9	107	109	104	110	108	108	2,3022	2,14
10	124	110	107	124	100	113	10,6771	9,45
11	117	105	102	111	101	107	6,7231	6,27
12	120	105	107	108	115	111	6,2849	5,66
13	130	112	97	103	110	110	12,4619	12,29
14	131	102	100	110	107	110	12,3845	11,26
15	126	109	105	102	117	112	9,7314	8,70

Tabela 25. Coeficientes de flexibilidade dos traqueídeos dos lenhos tardios dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	55	52	54	59	52	54	2,8810	5,30
2	53	55	49	54	60	54	3,9623	7,31
3	55	51	56	58	56	55	2,5884	4,69
4	41	38	47	49	49	45	5,0200	11,20
5	41	39	45	45	44	43	2,6833	6,27
6	43	43	49	53	47	47	4,2426	9,03
7	42	39	49	56	48	47	6,6106	14,12
8	42	38	46	50	48	45	4,8166	10,75
9	40	37	47	46	46	43	4,4385	10,27
10	41	39	49	45	49	45	4,5607	10,23
11	42	40	50	47	47	45	4,0866	9,04
12	40	47	47	44	45	45	2,8810	6,46
13	37	50	50	50	46	47	5,6391	12,10
14	39	45	46	47	46	45	3,2094	7,20
15	47	49	52	51	50	50	1,9235	3,86

Tabela 26. Coeficientes de flexibilidade dos traqueídeos dos lenhos iniciais dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	77	68	65	72	69	70	4,6368	6,62
2	71	74	64	58	67	67	6,2209	9,31
3	77	67	66	60	68	68	6,1074	9,04
4	70	59	68	66	59	64	5,1284	7,96
5	60	57	59	65	56	59	3,5071	5,90
6	63	67	63	58	57	62	4,0988	6,65
7	59	56	58	60	53	57	2,7749	4,85
8	63	62	61	64	57	61	2,7019	4,40
9	52	51	56	59	53	54	3,2711	6,04
10	61	61	61	67	59	62	3,1305	5,02
11	63	66	54	57	48	58	7,1624	12,44
12	57	62	68	52	52	58	6,8702	11,80
13	55	52	58	52	57	55	2,7749	5,06
14	53	66	59	54	50	56	6,2690	11,12
15	68	59	58	59	57	60	4,4385	7,37

Tabela 27. Relações entre os coeficientes de flexibilidade dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais , dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	71	76	83	82	76	78	4,9295	6,35
2	75	74	77	93	90	82	8,9833	10,98
3	71	76	85	97	82	82	9,8843	12,02
4	59	64	69	74	83	70	9,2574	13,26
5	68	68	76	69	79	72	5,1478	7,15
6	68	64	78	91	82	77	10,8536	14,17
7	71	70	84	93	91	82	10,8490	13,26
8	67	61	75	78	84	73	9,0830	12,44
9	77	73	84	78	87	80	5,6303	7,06
10	64	64	80	67	83	72	9,1815	12,82
11	67	61	93	82	98	80	16,0219	19,98
12	70	76	69	85	86	77	8,0436	10,42
13	67	96	86	96	81	85	12,0706	14,17
14	73	68	78	87	92	80	9,8641	12,39
15	69	83	90	86	88	83	8,3487	10,03

Tabela 28. Frações parede dos traqueídeos dos lenhos tardios dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	45	48	46	41	48	46	2,8010	6,32
2	47	45	51	46	40	46	3,9623	8,65
3	45	49	44	42	44	45	2,5884	5,78
4	59	62	53	51	51	55	5,0200	9,09
5	59	61	55	55	56	57	2,6833	4,69
6	57	57	51	47	53	53	6,9282	13,07
7	58	61	51	44	52	53	6,6106	12,43
8	58	62	54	50	52	55	4,8166	8,73
9	60	63	53	54	54	57	4,4385	7,81
10	59	61	51	55	51	55	4,5607	8,23
11	58	60	50	53	53	55	4,0866	7,46
12	60	53	53	56	55	55	2,8810	5,20
13	63	50	50	50	54	53	5,6391	10,56
14	60	55	54	53	54	55	2,7749	5,03
15	53	51	48	49	50	50	1,9235	3,83

Tabela 29. Frações parede dos traqueídeos dos lenhos iniciais dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coeff. de variação
	1	2	3	4	5			
1	23	32	35	27	32	30	4,7645	15,99
2	29	26	36	42	33	33	6,2209	18,74
3	23	33	34	40	32	32	6,1074	18,85
4	30	41	32	34	41	36	5,1284	14,41
5	40	43	41	35	44	41	3,5071	8,64
6	37	33	37	42	43	38	4,0988	10,67
7	41	44	42	40	47	43	2,2749	6,48
8	39	38	39	36	43	39	2,5495	6,54
9	48	49	44	41	47	46	3,2711	7,14
10	36	39	39	33	41	38	3,1305	8,33
11	37	34	46	43	52	42	7,1624	16,89
12	43	38	32	47	48	42	6,6558	16,00
13	45	48	42	48	43	45	2,7749	6,14
14	47	34	41	46	50	44	6,2690	14,38
15	32	41	42	41	43	40	4,4385	11,15

Tabela 30. Relações entre as frações parede dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	196	150	131	152	150	156	24,0458	15,43
2	162	170	142	110	121	141	25,7099	18,23
3	196	148	129	105	138	143	33,5365	23,42
4	197	151	166	150	129	158	26,7077	16,95
5	148	142	134	157	127	142	11,7175	8,28
6	154	173	138	112	123	140	24,3002	17,36
7	142	139	121	110	111	125	15,1756	12,18
8	149	163	138	139	121	142	12,4596	10,89
9	125	129	120	132	115	124	6,8337	5,50
10	164	156	131	167	124	148	19,6545	13,24
11	157	176	109	123	102	133	31,8638	23,89
12	140	140	166	119	115	136	20,3838	14,99
13	140	104	119	104	126	119	15,3232	12,92
14	128	162	132	115	108	129	20,8327	16,15
15	166	124	114	120	116	128	21,2870	16,86

Tabela 31. Índice de Runkel dos traqueídeos dos lenhos tardios dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	0,816	0,908	0,836	0,689	0,910	0,832	0,0903	10,85
2	0,878	0,825	1,045	0,862	0,658	0,854	0,1382	16,19
3	0,829	0,973	0,802	0,733	0,780	0,823	0,0907	11,02
4	1,452	1,656	1,129	1,044	1,051	1,266	0,2743	21,66
5	1,428	1,580	1,215	1,198	1,263	1,337	0,1636	12,24
6	1,305	1,345	1,043	0,891	1,123	1,141	0,1877	16,45
7	1,381	1,559	1,049	0,801	1,088	1,176	0,2972	25,28
8	1,366	1,610	1,180	0,502	1,097	1,151	0,4129	35,87
9	1,483	0,720	1,143	1,178	1,156	1,334	0,2583	19,36
10	1,428	1,557	1,037	1,212	1,052	1,257	0,2300	18,30
11	1,354	1,492	1,016	1,110	1,113	1,217	0,1982	16,28
12	1,525	1,142	1,143	1,260	1,211	1,256	0,1582	12,60
13	1,703	1,017	1,000	0,989	1,180	1,178	0,3037	25,79
14	1,521	1,205	1,162	1,106	1,160	1,231	0,1660	13,49
15	1,142	1,028	0,941	0,949	0,986	1,010	0,0817	8,09

Tabela 32. Índices de Runkel dos traqueídeos dos lenhos iniciais dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	0,304	0,465	0,527	0,381	0,474	0,430	0,0878	20,41
2	0,406	0,355	0,568	0,718	0,501	0,510	0,1428	28,02
3	0,300	0,485	0,514	0,675	0,467	0,488	0,1336	27,37
4	0,428	0,698	0,465	0,522	0,704	0,563	0,1300	23,08
5	0,670	0,756	0,681	0,541	0,775	0,685	0,0924	13,49
6	0,589	0,501	0,575	0,719	0,761	0,629	0,1077	17,13
7	0,699	0,785	0,730	0,676	0,869	0,752	0,0772	10,27
8	0,584	0,624	0,634	0,565	0,763	0,634	0,0775	12,22
9	0,914	0,961	0,801	0,686	0,889	0,850	0,1087	12,78
10	0,565	0,644	0,632	0,491	0,695	0,605	0,0790	13,04
11	0,582	0,527	0,842	0,765	1,079	0,759	0,2205	29,05
12	0,742	0,617	0,470	0,902	0,915	0,729	0,1899	26,05
13	0,809	0,918	0,727	0,926	0,758	0,828	0,0911	11,00
14	0,897	0,516	0,694	0,852	0,988	0,789	0,1863	23,60
15	0,468	0,693	0,717	0,694	0,742	0,663	0,1107	16,71

Tabela 33. Relações entre os índices de Runkel dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Anel	árvore					Média	Desvio padrão	Coef. de variação
	1	2	3	4	5			
1	268	195	159	181	192	199	41,0792	20,64
2	216	232	184	120	131	177	49,8979	28,26
3	276	201	156	109	167	182	62,1023	34,16
4	339	237	243	200	149	234	69,8126	29,89
5	213	209	178	221	163	197	24,9640	12,68
6	222	268	181	124	148	189	57,6611	30,57
7	198	199	144	118	125	157	39,2390	25,02
8	234	258	186	89	144	182	68,1704	37,42
9	162	179	143	170	130	157	20,0175	12,77
10	253	242	164	247	151	211	49,5712	23,45
11	233	283	121	145	103	177	77,4726	43,77
12	206	185	243	140	132	181	46,2785	25,54
13	210	111	138	107	156	144	41,8127	28,96
14	170	234	167	130	117	164	45,5774	27,86
15	244	148	131	137	133	159	48,1902	30,38

Tabela 34. Equações testadas para explicar a variação no sentido radial do comprimento do traqueídeo do lenho inicial

Modelo	F	r	IF
$CLI = a + b/A$	273,88**	0,8885**	0,347251
$CLI = a + bA + cA^2$	256,32**	0,9364**	0,267475
$CLI = a + b \log A$	515,19**	0,9358**	0,266669
$\log CLI = a + b \log A$	385,65**	0,9188**	0,021839
$\log CLI = a + b/A$	490,94**	0,9330**	0,019908
$\log CLI = a + bA + cA^2$	236,32**	0,9315**	0,020258

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

CLI = comprimento de fibra do lenho inicial (mm)

A = número do anel de crescimento

IF = índice de Furnival

Tabela 35. Análise de variância para o modelo $\log CLI = a + b/A$.

Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Regressão	1	0,50555568	490,94 **
Resíduo	73	0,00102978	
Total corrigido	74		C.V. = 5,67%

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 36. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\log \text{CLI} = a + b/A$

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro-padrão
a	0,695679	125,25**	0,005554
b	-0,340366	19,89**	0,017112

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 37. Equações testadas para explicar a variação no sentido radial do comprimento de fibra do lenho tardio.

Modelo	F	r	IF
$\text{CLT} = a + b/A$	248,83**	0,8793**	0,416198
$\text{CLT} = a + bA + cA^2$	175,61**	0,9109**	0,362937
$\text{CLT} = a + b \log A$	353,91**	0,9104**	0,361362
$\log \text{CLT} = a + b \log A$	384,92**	0,9168**	0,039651
$\log \text{CLT} = a + b/A$	414,64**	0,9221**	0,024538
$\log \text{CLT} = a + bA + cA^2$	188,64**	0,9163**	0,025564

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

CLT = comprimento de fibra do lenho tardio (mm)

A = número do anel de crescimento

Tabela 38. Análise de variância para o modelo $\log CLT = a + b/A$.

Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Régressão	1	0,61217486	414,64**
Resíduo	73	0,00147639	
Total corrigido	74		C.V. = 6,02%

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 39. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\log CLT = a + b/A$.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,722763	119,21**	0,006063
b	-0,380334	20,36**	0,018678

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 40. Equações testadas para explicar a variação no sentido radial, da largura da fibra do lenho inicial.

Modelo	F	r	IF
LLI = a + b/A	45,54**	0,6198**	2,780508
LLI = a + bA + cA ²	18,08**	0,5781**	2,910966
LLI = a + b log A	38,66**	0,5883**	2,864895
log LLI = a + b log A	42,82**	0,6080**	0,043728
log LLI = a + b/A	52,50**	0,6468**	0,042008
log LLI = a + bA + cA ²	20,07**	0,5983**	0,044439

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

LLI = largura da fibra do lenho inicial (micra)

A = número do anel de crescimento

Tabela 41. Análise de variância para o modelo $\log LLT = a + b/A$

Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Régressão	1	0,03288270	52,50**
Resíduo	73	0,00062631	
Total corrigido	74		C.V. = 1,49%

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 42. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\log LLT = a + b/A$

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	1,698053	430,02**	0,003949
b	-0,088147	7,25**	0,012165

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 43. Equações testadas para explicar a variação no sentido radial da largura da fibra do lenho tardio.

Modelo	F	r	IF
$LLT = a + b/A$	127,57 **	0,7974 **	1,950841
$LLT = a + bA + cA^2$	39,90 **	0,7250 **	2,242475
$LLT = a + b \log A$	80,68 **	0,7245 **	2,228687
$\log LLT = a + b \log A$	88,40 **	0,7400 **	0,035908
$\log LLT = a + b/A$	151,70 **	0,8216 **	0,030433
$\log LLT = a + b A + cA^2$	43,49 **	0,7396 **	0,036180

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

LLT = largura da fibra do lenho tardio (micra)

A = número do anel de crescimento

Tabela 44. Análise de variância para o modelo $\log LLT = a + b/A$ e estimativa dos parâmetros.

Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Ressagem	1	0,05112869	151,70**
Resíduo	73	0,00033703	
Total corrigido	74		C.V. = 1,11%

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 45. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\log LLT = a + b/A$

Parâmetro	Valor estimado	t	IF
a	1,682013	580,66**	0,002897
b	-0,109912	12,32**	0,008924

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

4.4. Correlações entre as características

As correlações lineares entre as densidades básicas, dimensões e índices das fibras, para os lenhos tardio e inicial, dos anéis de crescimento dos discos amostrados a 1,2 m do solo são mostrados nas Tabelas 46 e 47.

Tabela 46. Correlações entre densidade básica, dimensões e índices dos traqueídeos, para os lenhos tardios, dos anéis de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Variável independente (x)	Variável dependente (y)	F	C.V.	r	a	b
Densidade básica	comp. da fibra	32,72**	16,13	0,5563**	0,1634	6,4065
	largura da fibra	20,75**	6,12	0,4705**	32,2250	19,6818
	diâmetro do lúmen	22,91**	9,11	0,4888**	31,1555	-14,5049
	espessura	88,33**	9,76	0,7399**	0,5107	17,1300
	ind. enfeltramento	32,97**	12,49	0,5578**	24,4912	108,8151
	coef. flexibilidade	99,12**	7,82	0,7469**	84,2658	-55,0892
	fração parede	92,31**	6,98	0,7473**	15,8309	54,9254
Comprimento da fibra	ind. de Runkel	59,96**	17,99	0,6715**	-0,5193	2,4793
	largura	204,73**	3,55	0,8586**	31,5129	3,1191
	espessura	163,53**	8,06	0,8315**	4,5531	1,6715
	ind.enfeltramento	1335,92**	3,43	0,9737**	22,8039	16,4952
	coef.flexibilidade	48,09**	9,13	0,6302**	65,2792	-4,0362
	fração parede	47,61**	8,17	0,6282**	34,8238	4,0101
	ind. de Runkel	30,65**	20,35	0,5438**	0,3675	0,1743
Largura da fibra	espessura	111,88**	9,11	0,7779**	-7,5426	0,4304
	ind. enfeltramento	82,88**	10,30	0,7292**	-56,9205	3,4001
	coef.flexibilidade	19,46**	10,45	0,4588**	84,0032	-0,8088
	fração parede	19,39**	9,33	0,4581**	16,1619	0,8048
	ind. de Runkel	12,89**	22,36	0,3873**	-0,4069	0,0341
Diâmetro do lúmen	espessura	19,33**	12,90	0,4576**	19,6652	-0,3569
	coef.flexibilidade	109,63**	7,44	0,7748**	6,0197	1,9255
	fração parede	109,80**	6,63	0,7750**	93,8374	-1,9195
	ind. de Runkel	92,27**	16,12	0,7472**	3,1367	-0,0929
Espessura da parede	ind.enfeltramento	113,78**	9,41	0,7805**	18,5483	6,5767
	coef.flexibilidade	367,57**	4,79	0,9134**	82,2300	-2,9100
	fração parede	365,16**	4,28	0,9129**	17,8960	2,8984
	ind. de Runkel	162,74**	13,50	0,8309**	-0,4464	0,1325
Indice de enfeltramento	coef.flexibilidade	51,89**	8,99	0,6446**	71,0329	-0,2437
	fração parede	51,38**	8,04	0,6428**	29,1046	0,2421
	ind. de Runkel	32,87**	20,14	0,5572**	0,1172	0,0105
Coef. de flexibilidade	fração parede	170689,54**	0,23	0,9998**	99,8139	-0,9963
	ind. de Runkel	430,58**	9,23	0,9247**	3,3335	-0,0462
Fração parede	ind. de Runkel	429,73**	9,24	0,9246**	-1,3027	0,0464

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 47. Correlações entre densidade básica, dimensões e índices dos trapeídeos, para os lenhos iniciais, dos anéis de crescimento, dos discos tomados a 1,2 m.

Variável independente (x)	Variável dependente (y)	F	C.V.	r	a	b
Densidade básica	comp. da fibra	13,61**	16,41	0,3964**	7,3865	-8,4883
	largura	13,25**	6,73	0,3920**	62,1042	-38,6648
	espessura	7,53**	17,61	0,3058**	14,9119	-14,9579
	ind.enfeltramento	7,24**	13,95	0,3004*	129,0679	-109,6640
Comprimento da fibra	largura	66,37**	5,20	0,6900**	34,3023	3,1792
	espessura	100,06**	12,01	0,7604**	2,0018	1,7371
	ind.enfeltramento	518,11**	5,14	0,9362**	20,7222	15,9599
	coef.flexibilidade	20,95**	12,88	0,4722**	83,3531	-5,4629
	fração parede	16,86**	17,69	0,4332**	20,1963	4,3134
Largura da fibra	ind. de Runkel	35,28**	21,22	0,5708**	0,1156	0,1283
	diâmetro do lúmen	26,05**	10,40	0,5128**	4,3900	0,5159
	espessura	22,75**	16,15	0,4874**	-2,1736	0,2416
Diâmetro do lúmen	ind.enfeltramento	13,87**	13,41	0,3996**	17,8391	1,4784
	espessura	24,26**	16,02	0,4994**	16,5339	-0,2461
	ind.enfeltramento	8,51**	13,84	0,3232**	123,0549	-1,1886
	coef.flexibilidade	40,81**	11,70	0,5988**	16,7224	1,4945
	fração parede	20,82**	17,32	0,4711**	67,9223	-1,0119
Espessura da parede	ind. de Runkel	104,74**	16,56	0,7676**	1,7430	-0,0372
	ind.enfeltramento	84,12**	9,97	0,7317**	37,2995	5,4598
	coef.flexibilidade	63,99**	10,66	0,6834**	92,6136	-3,4608
	fração parede	56,07**	14,76	0,6591**	11,5709	2,8726
Indice de enfeltramento	ind. de Runkel	434,67**	9,80	0,9253**	-0,1935	0,0910
	coef.flexibilidade	34,62**	12,03	0,5672**	94,2166	-0,3848
	fração parede	19,34**	17,46	0,4576**	14,8597	0,2672
Coef. de flexibilidade	ind. de Runkel	55,83**	19,45	0,6583**	-0,1077	0,0086
	fração parede	25,52**	16,90	0,5090**	64,8687	-0,4380
	ind. de Runkel	86,87**	17,46	0,7371**	1,5338	-0,0143
Fração parede	ind. de Runkel	44,64**	20,35	0,6160**	0,1250	0,0139

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

4.5. Composição química da madeira integral

Os dados relativos às análises químicas efetuadas sobre a madeira integral são apresentados na Tabela 48.

Tabela 48. Composição química da madeira integral (%).

Ensaio	%
Teores de:	
- holocelulose	72,3
- lignina	26,8
- pentosanas	11,0
- cinzas	0,2
Extrativos em:	
- água quente	2,6
- álcool-benzeno	3,4
- NaOH 1%	11,6

4.6. Rendimentos e análise das celuloses

Os dados relativos aos rendimentos obtidos, percentagens de rejeito e números de permanganato das celuloses produzidas a partir de madeira integral, através dos três diferentes cozimentos, são mostrados na Tabela 49.

Tabela 49. Rendimentos, percentagens de rejeitos e números de permanganato das celuloses produzidas a partir de madeira integral.

Ensaios	cozimento		
	(1)	(2)	(3)
Rendimento bruto (%)	56,5	48,7	45,9
Rendimento depurado (%)	54,6	48,5	45,8
Percentagem de rejeitos	2,1	0,2	0,1
Número de permanganato	35,6	31,4	26,4
Percentagem de álcali ativo como Na_2O	16	18	20

4.7. Madeira juvenil, intermediária e adulta

Os dados relativos às percentagens em volume e em peso das frações A (madeira juvenil), B (madeira intermediária) e C (madeira adulta), relações e correlações aparecem nas Tabelas 50 e 51.

As Tabelas 52 e 53 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos na determinação da densidade básica e composição química dos cavacos obtidos das três frações.

Tabela 50. Percentagens em volume e em peso das frações A, B e C e relações para os discos tomados a 1,2 m.

Árvore	Frações								
	A			B			C		
	%V	%P	R	%V	%P	R	%V	%P	R
1	29,6	21,5	72	36,8	37,2	101	33,6	41,4	123
2	18,0	15,6	87	31,0	31,9	103	51,0	52,5	103
3	27,6	23,9	86	33,9	33,4	98	38,5	42,7	111
4	25,6	22,0	86	31,4	31,7	101	43,0	46,2	108
5	34,2	28,7	84	33,8	37,5	110	32,0	33,8	106
6	25,2	20,0	80	36,4	36,7	101	38,5	43,4	112
7	37,5	32,4	86	35,3	36,4	103	27,2	31,2	115
8	30,8	26,6	86	30,8	29,8	97	38,4	43,6	114
9	24,0	20,6	86	31,2	30,4	97	44,8	49,0	110
10	33,8	30,3	90	34,6	36,3	105	31,6	33,4	105
Média	28,6	24,2	84	33,5	34,1	102	37,9	41,7	111
Desvio padrão	5,8	5,2	5	2,3	3,0	4	7,1	6,7	6
C.V.	20,41	21,65	5,94	6,84	8,83	3,92	18,73	16,76	5,41

%V = percentagem em volume baseado no disco todo

%P = percentagem em peso baseado no disco todo

$$R = \frac{\%P}{\%V} \times 100$$

Fração: A = madeira juvenil, B = intermediária, C = adulta.

Tabela 51. Correlações entre percentagem em peso e em volume para as frações A, B e C.

Variável dependente = %P

Variável independente = %V

Fração	r	a	b
A	0,9622**	-0,9084	0,8756
B	0,8991**	-5,4133	1,1797
C	0,9630**	5,8417	0,9477
Geral	0,9250**	-9,0751	1,2722

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 52. Densidade básica das frações A, B e C.

Fração	Amostra			Média
	1	2	3	
A	0,374	0,370	0,396	0,380
B	0,436	0,457	0,454	0,449
C	0,502	0,478	0,478	0,491

Fração: A = madeira juvenil, B = intermediária e C = adulta.

Tabela 53. Composição química das frações A, B e C (%).

Ensaios	Frações		
	A	B	C
Teores de:			
- holocelulose	66,0	71,4	70,8
- lignina	27,8	27,4	27,3
- pentosanas	10,8	9,8	9,0
- cinzas	0,3	0,2	0,2
Extrativos em:			
- água quente	5,9	3,8	4,2
- álcool-benzeno	5,4	3,2	2,8
- NaOH 1%	15,8	11,5	11,3

4.8. Rendimentos e análises das celuloses

Os dados relativos aos rendimentos obtidos, percentagens de rejeito e números de permanganato das celuloses produzidas, a partir dos três tipos de frações, aparecem na Tabela 54.

Tabela 54. Rendimentos, percentagens de rejeito e número de permanganato das frações A (madeira juvenil), B (madeira intermediária) e C (madeira adulta).

Ensaio	Frações		
	A	B	C
Rendimento bruto (%)	46,4	48,3	48,6
Percentagem de rejeitos	0,1	0,1	0,1
Rendimento depurado (%)	46,3	48,2	48,5
Número de permanganato	25,8	25,9	27,2

4.9. Ensaios físico-mecânicos de resistência

Os valores referentes às leituras dos aparelhos utilizados para os ensaios físico-mecânicos de resistência são apresentados no Apêndice (Tabelas 127 a 132).

As equações testadas para explicar as variações das diferentes resistências ensaiadas, em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR), análises de variância para os melhores modelos e respectivos parâmetros estimados são apresentados nas Tabelas 55 a 126.

Tabela 55. Celulose do cozimento (1) do madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência à tração em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	15,77**	0,6378**	1801,54
$R = a + b SR + c SR^2$	18,77**	0,7940**	1050,38
$R = a + b \ln SR$	25,69**	0,7263**	1161,46
$R = a + b/SR$	39,80**	0,7961**	1022,67
$\ln R = a + b SR$	14,00**	0,6151**	2,91
$\ln R = a + b \ln SR$	22,42**	0,7025**	2,63
$\ln R = a + b/SR$	34,49**	0,7745**	2,34

Tabela 56. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Análise de variância da resistência à tração para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	2,608748	34,49**
Resíduo	97	0,075639	
Total corrigido	99	C.V. = 3,23%	

Tabela 57. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para a resistência à tração.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	9,107421	77,83**	0,117023
b	-16,159200	5,87**	2,751545

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 58. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao arrebentamento em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	4,40**	0,4009**	12,59
$R = a + bSR + c SR^2$	11,94**	0,7214**	19,73
$R = a + b \ln SR$	8,46**	0,5186**	11,75
$R = a + b/SR$	14,43**	0,6208**	10,77
$\ln R = a + b SR$	6,34**	0,4648**	1,48
$\ln R = a + b \ln SR$	11,24**	0,5728**	1,37
$\ln R = a + b/SR$	18,45**	0,6672**	1,24

Tabela 59. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Análise de variância da resistência ao arrebentamento para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	2,171869	18,45**
Resíduo	97	0,117690	
Total corrigido	99		C.V. = 9,48%

Tabela 60. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao arrebentamento.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,171682	28,58**	0,145972
b	-14,744179	4,30**	3,432201

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 61. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao rasgo em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	84,93**	0,8871**	21,98
$R = a + b SR + c SR^2$	106,31**	0,9519**	14,9089
$R = a + b \ln SR$	184,89**	0,9430**	15,84
$R = a + b/SR$	400,81**	0,9724**	11,09
$\ln R = a + b SR$	38,91**	0,9062**	0,5451
$\ln R = a + b \ln SR$	353,88**	0,9690**	0,3572
$\ln R = a + b/SR$	752,32**	0,9845**	0,2535

Tabela 62. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Análise de variância para resistência ao rasgo para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	2,859272	725,32**
Resíduo	97	0,002563	
Total corrigido	99		C.V. = 1,01%

Tabela 63. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao rasgo.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,499181	208,85**	0,021543
b	13,641913	26,93**	0,506536

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 64. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação do peso específico aparente em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	12,16**	0,5880**	0,0649
$R = a + b SR + c SR^2$	11,63**	0,7167**	0,0572
$R = a + b \ln SR$	18,65**	0,6691**	0,0596
$R = a + b/SR$	25,57**	0,7384**	0,0541
$\ln R = a + b SR$	12,37**	0,5914**	0,1056
$\ln R = a + b \ln SR$	19,12**	0,6737**	0,0968
$\ln R = a + b/SR$	28,56**	0,7442**	0,0875

Tabela 65. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Análise de variância para peso específico aparente para o modelo $R = a + b/SR$

Causa de variação	GL	QM	F
Ressagem	2	0,080673	27,57**
Resíduo	97	0,002926	
Total corrigido	99		C.V. = 10,91%

Tabela 66. Celulose do cozimento (1) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $R = a + b/SR$ para peso específico aparente.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,602290	26,17**	0,023015
b	-2,841632	5,25**	0,541151

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 67. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência à tração em função do grau da moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b \text{ SR}$	18,02**	0,6629**	1368,09
$R = a + b \text{ SR} + c \text{ SR}$	22,31**	0,8184**	1073,51
$R = a + b \ln \text{ SR}$	33,25**	0,7688**	1168,36
$R = a + b/\text{SR}$	63,29**	0,8564**	943,30
$\ln R = a + b \text{ SR}$	16,90**	0,6507**	2,58
$\ln R = a + b \ln \text{ SR}$	32,98**	0,7675**	2,17
$\ln R = a + b/\text{SR}$	69,21**	0,8663**	1,69

Tabela 68. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Análise de variância para resistência à tração para o modelo $\ln R = a + b/\text{SR}$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	2,660608	69,21**
Resíduo	97	0,038443	
Total corrigido	99	C.V. = 2,27%	

Tabela 69. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/\text{SR}$ para resistência à tração.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	9,287904	106,27**	0,087403
b	18,074316	8,32**	2,172592

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 70. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao arrebentamento em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	10,49**	0,5596**	10,31
$R = a + b SR + c SR^2$	25,45**	0,8355**	6,9901
$R = a + b \ln SR$	21,85**	0,6979**	8,91
$R = a + b/SR$	47,59**	0,8210**	7,10
$\ln R = a + b SR$	11,15**	0,5714**	1,11
$\ln R = a + b \ln SR$	23,20**	0,7086**	0,9524
$\ln R = a + b/SR$	51,08**	0,8303**	0,7520

Tabela 71. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Análise de variância para a resistência ao arrebentamento para o modelo $\ln R = a + b/SR$

Causa de variação	GL	QM	F
Ressagem	2	2,044110	51,08**
Resíduo	97	0,040014	
Total corrigido	99		C.V. = 5,32%

Tabela 72. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao arrebentamento.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,330616	48,57**	0,089171
b	-15,842493	7,15**	2,226551

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 73. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao rasgo em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	44,41**	0,8117**	25,93
$R = a + b SR + c SR^2$	62,14**	0,9217**	24,3895
$R = a + b \ln SR$	97,89**	0,8998**	26,83
$R = a + b/SR$	264,65**	0,9591**	17,39
$\ln R = a + b SR$	176,85**	0,8772**	0,7788
$\ln R = a + b \ln SR$	181,61**	0,9421**	0,5442
$\ln R = a + b/SR$	443,65**	0,9750**	0,3602

Tabela 74. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Análise de variância da resistência ao rasgo para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	2,204573	443,65**
Resíduo	97	0,004969	
Total corrigido	99		C.V. = 1,38%

Tabela 75. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,514737	143,67**	0,031424
b	16,452416	21,06**	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 76. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação do peso específico aparente em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	19,05**	0,6731**	0,0574
$R = a + b SR + c SR^2$	42,87**	0,8920**	0,0358
$R = a + b \ln SR$	40,64**	0,7991**	0,0466
$R = a + b/SR$	101,62**	0,9092**	0,0333
$\ln R = a + b SR$	17,90**	0,6615**	0,0837
$\ln R = a + b \ln SR$	38,02**	0,7893**	0,0684
$\ln R = a + b/SR$	93,51**	0,8958**	0,0495

Tabela 77. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Análise de variância do peso específico aparente para o modelo $R = a + b/SR$

Causa de variação	GL	QM	F
Ressagem	2	0,112839	101,62**
Resíduo	77	0,001110	
Total corrigido	99		C.V. = 6,40%

Tabela 78. Celulose do cozimento (2) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $R = a + b/SR$ para peso específico aparente.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,654608	44,07**	0,014854
b	-3,722209	10,08**	0,369243

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 79. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência à tração em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	73,63**	0,7729**	990,63
$R = a + b SR + c SR^2$	43,41**	0,8931**	933,50
$R = a + b \ln SR$	107,92**	0,9079**	851,04
$R = a + b/SR$	131,02**	0,9223**	784,65
$\ln R = a + b SR$	50,15**	0,8280**	2,05
$\ln R = a + b \ln SR$	86,44**	0,8887**	1,68
$\ln R = a + b/SR$	149,91**	0,9311**	1,33

Tabela 80. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Análise de variância da resistência à tração para o modelo $\ln R = a + b/SR$

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	3,585291	149,91**
Resíduo	97	0,023916	
Total corrigido	99		C.V. = 1,79%

Tabela 81. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência a tração.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	9,217804	160,47**	0,057443
b	-15,126816	12,24**	1,235473

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 82. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao arrebentamento em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F"	r	IF
$R = a + b SR$	37,44**	0,7948**	9,44
$R = a + b SR + c SR^2$	35,68**	0,8742**	7,72
$R = a + b \ln SR$	70,70**	0,8686**	7,70
$R = a + b/SR$	134,82**	0,9242**	5,94
$\ln R = a + b SR$	30,49**	0,7549**	1,20
$\ln R = a + b \ln SR$	58,26**	0,8466**	0,9730
$\ln R = a + b/SR$	130,45**	0,9220**	0,7081

Tabela 83. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Análise de variância da resistência ao arrebentamento para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	4,802820	130,45**
Resíduo	97	0,036816	
Total corrigido	99		C.V. = 5,20%

Tabela 84. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao arrebentamento.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,375074	61,39**	0,071270
b	-17,507875	11,42**	1,532871

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 85. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao rasgo em função do grau da moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	43,28**	0,8081**	42,70
$R = a + b SR + c SR^2$	58,28**	0,9171**	29,54
$R = a + b \ln SR$	91,88**	0,8943**	32,44
$R = a + b/SR$	261,74**	0,9587**	20,60
$\ln R = a + b SR$	64,83**	0,8591**	0,9299
$\ln R = a + b \ln SR$	143,14**	0,9282**	0,6760
$\ln R = a + b/SR$	405,11**	0,9727 **	0,4209

Tabela 86. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Análise de variância da resistência ao rasgo para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Ressagem	2	2,773387	405,11**
Resíduo	97	0,006846	
Total corrigido	99		C.V. = 1,63%

Tabela 87. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao rasgo.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,566540	148,59**	0,030733
b	13,304253	20,13**	0,661005

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 88. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Equações testadas para explicar a variação do peso específico aparente em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F _r	r	IF
R = a + b SR	38,33**	0,7906**	0,0514
R = a + b SR + c SR ²	59,06**	0,9181**	0,0340
R = a + b ln SR	81,49**	0,8831**	0,0394
R = a + b/SR	233,98**	0,9542**	0,0251
ln R = a + b SR	33,61**	0,7705**	0,0721
ln R = a + b ln SR	69,96**	0,8675**	0,0563
ln R = a + b/SR	190,02**	0,9444**	0,0372

Tabela 89. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Análise de variância do peso específico aparente para o modelo R = a + b/SR.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	0,147394	233,98**
Resíduo	97	0,000630	
Total corrigido	99		C.V. = 4,69%

Tabela 90. Celulose do cozimento (3) da madeira integral. Estimativa dos parâmetros para o modelo R = a + b/SR para peso específico aparente.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,655537	70,32**	0,009323
b	-3,067075	15,30**	0,200511

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 91. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Equações testadas para explicar a variação da resistência à tração em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	16,16**	0,6420**	1764,41
$R = a + b SR + c SR^2$	22,47**	0,8193**	1349,01
$R = a + b \ln SR$	27,88**	0,7402**	1547,39
$R = a + b/SR$	40,19**	0,7974**	1388,45
$\ln R = a + b SR$	14,37**	0,6201**	3,48
$\ln R = a + b \ln SR$	22,57**	0,7037**	3,15
$\ln R = a + b/SR$	29,61**	0,7502**	2,94

Tabela 92. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Análise de variância da resistência à tração para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de Variação	GL	QM	F
Regressão	2	3,433259	29,61**
Resíduo	97	0,115933	
Total corrigido	99		C.V. = 3,95%

Tabela 93. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência à tração.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	9,219732	71,46**	0,129020
b	-13,540501	5,44**	2,488198

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 94. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao arrebentamento em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	8,47**	0,5187**	16,63
$R = a + b SR + c SR^2$	11,64**	0,7169**	13,86
$R = a + b \ln SR$	14,01**	0,6152**	15,33
$R = a + b/SR$	19,16**	0,6741**	14,36
$\ln R = a + b SR$	9,23**	0,5350**	1,82
$\ln R = a + b \ln SR$	14,03**	0,6155**	1,70
$\ln R = a + b/SR$	17,94**	0,6620**	1,62

Tabela 95. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Análise de variância da resistência ao arrebentamento para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	3,316510	17,94**
Resíduo	97	0,184826	
Total corrigido	99	C.V. = 11,42%	

Tabela 96. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao arrebentamento.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,351277	26,71**	0,162906
b	-13,308286	4,24**	3,141688

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 97. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao rasgo em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	77,64**	0,8784**	24,88
$R = a + b SR + c SR^2$	45,00**	0,8964**	23,59
$R = a + b \ln SR$	100,02**	0,9016**	22,51
$R = a + b/SR$	92,65**	0,8950**	23,21
$\ln R = a + b SR$	103,98**	0,9049**	0,6589
$\ln R = a + b \ln SR$	114,17**	0,9123**	0,6339
$\ln R = a + b/SR$	90,23**	0,8926**	0,6979

Tabela 98. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Análise de variância da resistência ao rasgo para o modelo $\ln R = a + b \ln SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	1,751226	114,17**
Resíduo	97	0,015339	
Total corrigido	99		C.V. = 2,42%

Tabela 99. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b \ln SR$ para resistência ao rasgo.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	6,429254	51,58**	0,124645
b	-0,390635	10,69**	0,036559

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 100. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Equações testadas para explicar a variação do peso específico aparente em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	15,36**	0,6328**	0,0803
$R = a + b SR + c SR^2$	9,77**	0,6661**	0,0791
$R = a + b \ln SR$	19,01**	0,6726**	0,0767
$R = a + b/SR$	20,86**	0,6896**	0,0751
$\ln R = a + b SR$	13,18**	0,6035**	0,1082
$\ln R = a + b \ln SR$	16,40**	0,6451**	0,1036
$\ln R = a + b/SR$	18,14**	0,6640**	0,1014

Tabela 101. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Análise de variância do peso específico aparente para o modelo $R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	0,117581	20,86**
Resíduo	97	0,005637	
Total corrigido	99		C.V. = 13,84%

Tabela 102. Celulose do cozimento da madeira da fração A. Estimativa dos parâmetros para o modelo $R = a + b/SR$ para peso específico aparente.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,653012	22,95**	0,028450
b	-2,505817	4,57**	0,548671

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 103. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Equações testadas para explicar a variação da resistência à tração em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b \text{ SR}$	43,15**	0,8077**	1213,05
$R = a + b \text{ SR} + c \text{ SR}^2$	41,06**	0,8880**	966,85
$R = a + b \ln \text{ SR}$	100,64**	0,9022**	887,27
$R = a + b/\text{SR}$	229,74**	0,9534**	620,58
$\ln R = a + b \text{ SR}$	26,73**	0,7332**	3,07
$\ln R = a + b \ln \text{ SR}$	66,91**	0,8626**	2,29
$\ln R = a + b/\text{SR}$	226,76**	0,9520**	1,38

Tabela 104. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Análise de variância da resistência à tração para o modelo $\ln R = a + b/\text{SR}$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	5,879427	222,76**
Resíduo	97	0,026394	
Total corrigido	99		C.V. = 1,91%

Tabela 105. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/\text{SR}$ para resistência à tração.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,224895	159,44**	0,057858
b	-19,205116	14,93**	1,286761

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 106. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao arrebentamento em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	21,52**	0,6953**	10,99
$R = a + b SR + c SR^2$	85,86**	0,9414**	15,27
$R = a + b \ln SR$	57,99**	0,8461**	8,15
$R = a + b/SR$	191,52**	0,9448**	5,01
$\ln R = a + b SR$	17,91**	0,6615**	1,52
$\ln R = a + b \ln SR$	48,58**	0,8238**	1,15
$\ln R = a + b/SR$	179,90**	0,9415**	0,6832

Tabela 107. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Análise de variância da resistência ao arrebentamento para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de Variação	GL	QM	F
Regressão	2	6,515013	179,90**
Resíduo	97	0,036215	
Total corrigido	99		C.V. = 5,31%

Tabela 108. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao arrebentamento.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,337789	64,00**	0,067773
b	-20,216551	13,41**	1,507277

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 109. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao rasgo em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	219,93**	0,9515**	14,93
$R = a + b SR + c SR^2$	140,06**	0,9629**	13,39
$R = a + b \ln SR$	422,52**	0,9738**	11,03
$R = a + b/SR$	161,79**	0,9356**	17,12
$\ln R = a + b SR$	306,43**	0,9644**	0,3619
$\ln R = a + b \ln SR$	240,01**	0,9553**	0,4063
$\ln R = a + b/SR$	85,55**	0,8877**	0,6307

Tabela 110. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Análise de variância da resistência ao rasgo para o modelo $\ln R = a + b SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	1,468947	306,43**
Resíduo	97	0,004794	
Total corrigido	99		C.V. = 1,32%

Tabela 111. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b SR$ para resistência ao rasgo.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	5,642280	206,48**	0,027326
b	-0,010058	17,51**	0,000575

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 112. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Equações testadas para explicar a variação do peso específico aparente em função ao grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	36,84**	0,7846**	0,0575
$R = a + b SR + c SR^2$	41,76**	0,8896**	0,0433
$R = a + b \ln SR$	93,60**	0,8959**	0,0412
$R = a + b/SR$	313,44**	0,9651**	0,0242
$\ln R = a + b SR$	29,80**	0,7512**	0,0842
$\ln R = a + \ln SR$	75,73**	0,8757**	0,0616
$\ln R = a + b/SR$	267,68**	0,9596**	0,0358

Tabela 113. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Análise de variância do peso específico aparente para o modelo $R = a + b/SR$

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	0,184386	313,44**
Resíduo	97	0,000588	
Total corrigido	99		C.V. = 4,55%

Tabela 114. Celulose do cozimento da madeira da fração B. Estimativa dos parâmetros para o modelo $R = a + b/SR$ para peso específico aparente.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,659893	76,40**	0,008638
b	-3,401054	17,70**	0,192105

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 115. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Equações testadas para explicar a variação da resistência à tração em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F*	r	IF
$R = a + b SR$	29,82**	0,7514**	1057,52
$R = a + b SR + c SR^2$	27,89**	0,8468**	871,48
$R = a + b \ln SR$	55,78**	0,8414**	865,90
$R = a + b/SR$	110,39**	0,9097**	665,45
$\ln R = a + b SR$	25,83**	0,7273**	2,95
$\ln R = a + b \ln SR$	51,82**	0,8322**	2,38
$\ln R = a + b/SR$	120,44**	0,9162**	1,72

Tabela 116. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Análises de variância da resistência à tração para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Ressagem	2	5,182993	120,44 **
Resíduo	97	0,043034	
Total corrigido	99		

Tabela 117. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência à tração.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	8,955531	122,80**	0,072926
b	-19,168832	10,97**	1,746676

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 118. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao arrebentamento em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	21,32**	0,6935**	8,96
$R = a + b SR + c SR^2$	25,24**	0,8345**	7,0043
$R = a + b \ln SR$	42,07**	0,8041**	7,39
$R = a + b/SR$	92,77**	0,8951**	5,54
$\ln R = a + b SR$	19,97**	0,6816**	1,33
$\ln R = a + b \ln SR$	40,23**	0,7976**	1,10
$\ln R = a + b/SR$	92,15**	0,8945**	0,8138

Tabela 119. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Análise de variância da resistência ao arrebentamento para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Ressagem	2	5,098070	92,15**
Resíduo	97	0,055323	
Total corrigido	99		C.V. = 6,79%

Tabela 120. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao arrebentamento.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	4,114983	49,77**	0,082685
b	-19,011144	9,60**	1,980416

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 121. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Equações testadas para explicar a variação da resistência ao rasgo em função do grau de moagem (^oSR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	61,93**	0,8539**	0,0450
$R = a + b SR + c SR^2$	52,46**	0,9092**	0,0368
$R = a + b \ln SR$	135,63**	0,9246**	0,0329
$R = a + b/SR$	367,79**	0,9701**	0,0210
$\ln R = a + b SR$	49,87**	0,8272**	0,0665
$\ln R = a + b \ln SR$	108,45**	0,9082**	0,0495
$\ln R = a + b/SR$	309,12**	0,9647**	0,0312

Tabela 122. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Análise da variância da resistência ao rasgo para o modelo $\ln R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	GL	F
Regressão	2	0,714501	309,12**
Resíduo	97	0,002311	
Total corrigido	99		C.V. = 1,72%

Tabela 123. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Estimativa dos parâmetros para o modelo $\ln R = a + b/SR$ para resistência ao rasgo.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	0,404623	23,94 **	0,016901
b	7,117162	17,58 **	0,404800

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 124. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Equações testadas para explicar a variação do peso específico aparente em função do grau de moagem ($^{\circ}$ SR).

Modelo	F	r	IF
$R = a + b SR$	107,89**	0,9079**	0,9814
$R = a + b SR + c SR^2$	69,39**	0,9290**	1,1012
$R = a + b \ln SR$	49,16**	0,8253**	0,8317
$R = a + b/SR$	131,46**	0,9225**	0,5007
$\ln R = a + b SR$	21,49**	0,6949**	0,9315
$\ln R = a + b \ln SR$	52,88**	0,8348**	0,7142
$\ln R = a + b/SR$	22,73**	0,7049**	0,9201

Tabela 125. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Análise de variância do peso específico aparente para o modelo $R = a + b/SR$.

Causa de variação	GL	QM	F
Regressão	2	1,133613	131,46**
Resíduo	97	0,008623	
Total corrigido	99	C.V. = 3,95%	

Tabela 126. Celulose do cozimento da madeira da fração C. Estimativa dos parâmetros para o modelo $R = a + b/SR$ para peso específico aparente.

Parâmetro	Valor estimado	t	Erro padrão
a	5,793025	145,15**	0,039910
b	-0,009290	11,47**	0,000810

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 1 mostra que os desvios padrões e os coeficientes de variações para densidade básica, entre mesmas posições, para as árvores analisadas foram relativamente pequenos.

Todavia, a análise de variância, tanto para árvores como para posições dentro das árvores, mostrou significância ao nível de 1% de probabilidade. Do ponto de vista prático, a média das árvores não possui significado pelo fato de ser aritmética, não prevendo a conicidade que naturalmente ocorre.

Isto posto, observando-se o teste de Tukey para comparações entre as médias das densidades nas diferentes posições dentro da árvore (variação longitudinal) pode-se constatar que a diferença mínima significativa só é encontrada entre os discos da base (0,30 m) e tomados a 1,2 m contra os restantes. A partir do disco tomado a 2,4 m não é encontrada diferença mínima significativa.

Tal fato mostra que a diminuição da densidade é abrupta na região inferior do tronco, sendo paulatina com o acréscimo em altura.

Conforme apresentado na Tabela 3, todas as equações testadas foram significativas nas análises de variância e coeficientes de correlação. Foi escolhida, como melhor, aquela que apresentou menor índice de Furnival, ou seja

$$\log d_b = -0,336276 - 0,015671H + 0,000984H^2$$

onde,

d_b = densidade básica (g/cm^3)

H = altura (m)

As Tabelas 4 e 5 apresentam, respectivamente, a análise de variância para o modelo citado e estimativa dos parâmetros, todos eles altamente significativos, como pode ser observado pelo teste t.

A variação radial da densidade (sentido medula-casca) não mostra um padrão definido, como pode ser constatado pela observação dos resultados apresentados nas Tabelas 6 e 7. Os lenhos iniciais apresentam uma diminuição dentro dos primeiros anéis, permanecendo a partir do terceiro, dentro de uma faixa relativamente estreita de valores, entre 0,346 g/cm^3 e 0,381 g/cm^3 .

Os lenhos tardios, por outro lado, mostram um crescimento pronunciado até o 5º anel, a partir do qual as diferenças não são significativas, com exceção do último anel, quando é apresentada uma diminuição razoável.

Depreende-se deste fato, que o modelo de variação radial apresentado pelo material em estudo, considerando-se ambos os lenhos de

cada anel, é do tipo 3 segundo PANSIN e DE ZEEW (1970), ou seja: a densidade aumenta próxima à medula, permanecendo a seguir mais ou menos constante e, algumas vezes, decrescendo nas últimas porções formadas próximas à casca. Este fato, todavia, deve ser considerado como válido para valores médios, ocorrendo, naturalmente, exceções ao modelo quando amostras são analisadas isoladamente.

Estas mesmas tendências foram observadas por BURLEY *et alii* (1971), trabalhando com amostras obtidas de madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 10 anos de idade, da Jamaica.

Comparando-se anel por anel, a densidade do lenho tardio se mostrou de 30 a 100% maior que a densidade do lenho inicial. As menores diferenças ocorrem justamente na região próxima à medula, quando as árvores estão se desenvolvendo num ritmo de crescimento mais ou menos intenso e praticamente livre de competição. Nesta fase, o *Pinus caribaea*, se desenvolvendo em condições adequadas, apresenta pequenas distinções entre os dois tipos de lenhos. A partir de uma certa idade as diferenças se tornam marcantes e bastante influenciáveis por alterações climáticas ou pela adoção de práticas silviculturais, como desbaste ou desrama. Neste particular, os desbastes realizados não chegaram a influenciar, de maneira significativa, as densidades dos lenhos.

Quando se analisaram as densidades básicas de diferentes discos e respectivas percentagens de lenho tardio, tanto em peso como em volume (Tabelas 8 e 9), foram encontradas correlações significativas cujas equações lineares são apresentadas a seguir:

$$d_b = 0,3068 + 0,0037\% \text{ PLT} \quad (r = 0,8891**)$$

$$d_b = 0,3164 + 0,0067\% \text{ VLT} \quad (r = 0,8833**)$$

$$\% \text{PLT} = 3,9263 + 1,6825\% \text{ VLT} \quad (r = 0,9385**)$$

onde:

d_b = densidade básica do disco

%PLT = percentagem em peso do lenho tardio

%VLT = percentagem em volume do lenho tardio

Os resultados confirmam as assertivas encontradas na literatura e apresentadas na revisão do presente trabalho.

Decorre das observações feitas, que a densidade básica pode ser prevista tanto a partir de percentagem de lenho tardio em peso, como percentagem de lenho tardio em volume.

Considerando-se que as densidades dos lenhos tardios em si variam de anel para anel, a densidade do disco representa uma média ponderada dos lenhos individuais.

A Tabela 8 permite, ainda, que se observe que a percentagem em peso é cerca de 1,7 a 2,3 vezes maior que a percentagem em volume. Isso se explica se atentarmos para o fato de que o lenho tardio apresenta uma maior densidade básica, como ressaltado anteriormente.

Infere-se dos fatos observados que, se se deseja generalizar as observações para outras espécies do gênero *Pinus*, é de se esperar que essa relação seja tanto mais estreita quanto menor for a diferença entre as densidades dos diferentes lenhos.

As Tabelas 10 a 33 apresentam os resultados encontrados para as dimensões dos traqueídeos, principais parâmetros, relacionando-as entre si e relações entre os mesmos dentro de cada anel de crescimento, de discos tomados a 1,2 m de altura.

Os comprimentos dos traqueídeos, tanto para lenho inicial como tardio, mostram um aumento acentuado e praticamente linear até o 5º ou 6º anel de crescimento, características típicas de formação de madeira juvenil, segundo ZOBEL *et alii* (1959), POLLER e ZENKER (1968), ZOBEL (1976) e EINSPAHR (1976). A partir do 7º anel o aumento do comprimento é menos acentuado, tendendo para um valor mais ou menos constante.

As relações entre os comprimentos dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel de crescimento, mostram valores superiores a 100, com exceção dos dois primeiros anéis a partir da medula.

Fatos semelhantes foram encontrados para larguras dos traqueídeos, tanto para lenho tardio como inicial.

Todavia, o inverso ocorreu para as relações entre as larguras dos traqueídeos, quando a comparação foi feita dentro de cada anel de crescimento, que se mostraram inferiores a 100, ou seja, o lenho tardio apresenta traqueídeos com largura menor, quando comparados com aqueles do lenho inicial.

Visando-se expressar a variação no sentido radial do comprimento e largura dos traqueídeos dos lenhos inicial e tardio, foram testados seis modelos matemáticos, conforme mostrado nas Tabelas 34, 37, 40 e 43.

Todos os modelos se mostraram altamente significativos, tendo sido escolhido aquele de menor índice de Furnival, ou seja

$$\log Y = a + b/A$$

onde,

Y = dimensão da fibra (comprimento ou largura)

A = número do anel de crescimento (1 a 15)

a e b = parâmetro da equação

As análises de variâncias e estimativas dos parâmetros aparecem nas Tabelas 35, 36, 38, 39, 41, 42, 44 e 45. Os valores de F e t foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, para o modelo citado.

Comparando-se os resultados registrados com outros constantes da literatura (*PALMER e GIBBS, 1967; PALMER e GIBBS, 1971; PALMER e GIBBS, 1972; PALMER e GIBBS, 1973; FOELKEL, 1973*), observa-se que os valores encontrados são de maior magnitude para comprimento e menores para largura dos traqueídeos. Uma única exceção foi constatada, conforme relatado por *PALMER e GIBBS (1967)*, referente a material coletado em Honduras, quando os parâmetros citados se aproximam dos encontrados no presente trabalho.

Algumas explicações podem ser aventadas, destacando-se entre elas: diferentes origens de sementes, diferentes condições ecológicas (clima e solo), onde as árvores estão se desenvolvendo, diferentes idades dos materiais e mesmo diferentes critérios de amostragem. Frente ao exposto, esse tipo de comparação deve ser encarado com relativa cautela.

Observando-se os diâmetros de lúmen dos traqueídeos, nas Tabelas 16 (lenho inicial) e 17 (lenho tardio), constata-se a inexistência de um modelo definido de variação no sentido medula-casca. Por outro lado, observando-se anel por anel, são significativas as diferenças entre os traqueídeos do lenho inicial e do lenho tardio. Tal fato é facilmente constatado através das relações apresentadas na Tabela 18, quando se observa que os diâmetros de lúmen dos traqueídeos dos lenhos tardios, dependendo do anel de crescimento, representam de 69 a 83% daqueles das fibras dos lenhos iniciais.

Não tão significativas são as diferenças de espessuras das paredes dos traqueídeos dos lenhos, quando analisadas em seus valores absolutos (Tabelas 19 e 20). Porém, quando relacionados dentro de cada anel, esta dimensão é a que apresenta maiores diferenças relativas, como pode ser observado na Tabela 21.

A semelhança dos valores encontrados para diâmetros de lúmen, não se observa um padrão definido de variação no sentido radial. Destaca-se, tão somente, o aumento pronunciado nos primeiros anéis junto à medula.

O índice de enfeltramento permite correlacionar em um único parâmetro, o comprimento e largura dos traqueídeos. As Tabelas 23 e 24 mostram os valores encontrados para os lenhos tardios e iniciais. O modelo de variação é bastante semelhante àqueles encontrados para comprimento e largura, ou seja, se traduzindo em um aumento pronunciado até o 5º ou 6º anel permanecendo mais ou menos constantes a partir do 7º anel de crescimento. Dentro de cada anel, as relações entre os índices de enfeltramento

dos lenhos tardios e iniciais oscilavam entre 107 e 114. Isso mostra que o índice de enfeitramento dos traqueídeos dos lenhos tardios é maior que aquele dos traqueídeos do lenho inicial. Em outras palavras, o traqueídeo do lenho tardio, de um modo geral, apresentando maior comprimento e menor largura, confirmam as observações feitas.

Quando se relaciona diâmetro do lúmen com largura dos traqueídeos dos lenhos tardios, os coeficientes de flexibilidade apresentam valores menorés que aqueles encontrados para lenhos iniciais (Tabelas 25 e 26). Depreende-se do fato, que os traqueídeos dos primeiros são mais rígidos. Conforme anteriormente discutido, isso ocorre pois os traqueídeos do lenho tardio apresentam um menor diâmetro de lúmen e uma maior largura em toda a extensão no sentido radial. Esse fato é importante pois, quanto menor o coeficiente de flexibilidade, mais reduzido é o fenômeno de colapso que ocorre durante a refinação das fibras. Ou seja, o traqueídeo tende a manter sua conformação tubular, o que reduz a ligação inter-fibras com reflexos nas resistências físico-mecânicas da celulose produzida.

A relação entre os coeficientes de flexibilidade dos traqueídeos dos lenhos tardios e iniciais, dentro de cada anel, se mostrou dentro do intervalo de 70 a 85, não se observando um modelo de variação definido no sentido radial.

Decorrente das considerações anteriormente aventadas, as frações parede dos traqueídeos dos lenhos tardios se mostraram sensivelmente maiores que aquelas encontradas para os lenhos iniciais, como pode ser observado nas Tabelas 28 e 29. As relações dentro de cada anel oscilaram entre 119 e 158, em favor dos lenhos tardios (Tabela 30). Isto se explica

pelas diferenças encontradas entre as espessuras de paredes dos traqueídeos de ambos os lenhos, que foram mais significativas que as variações ocorridas entre as larguras de traqueídeos nos lenhos considerados.

Finalmente, o índice de Runkel, expresso pela relação entre duas vezes a espessura da parede e respectivo diâmetro do lúmen dos traqueídeos, se mostrou maior para os elementos dos lenhos tardios (Tabelas 31 e 32). Algumas vezes a relação entre o índice de Runkel dos traqueídeos do lenho tardio, quando comparado com os do lenho inicial, foi o dobro, como pode ser constatado para os anéis de números 4 e 10 na Tabela 33.

Correlações entre as densidades básicas, dimensões e relações dos traqueídeos para os lenhos tardios e iniciais dos anéis dos discos, tomados a 1,2 m de altura, são apresentados nas Tabelas 46 e 47.

De uma maneira geral, os lenhos tardios mostraram um maior número de correlações significativas e maiores coeficientes de correlação, quando comparados com os lenhos iniciais. Devido a esse fato, o lenho tardio é, normalmente, considerado um importante índice de qualidade da madeira, segundo *BETHUNE* (1968) e *HAMILTON & MATTHEWS* (1965).

A densidade básica mostrou correlações significativas com todas as dimensões dos traqueídeos e relações para lenhos tardios, enquanto que, para o lenho inicial, somente com comprimento, largura (e consequente índice de enfeltramento) e espessura da parede. Ainda para o lenho tardio, os melhores coeficientes de correlação foram encontrados para espessura da parede e relações diretamente relacionados com a mesma, ou seja, fração parede e índice de Runkel. Para o caso do lenho inicial, os valores do

coeficiente de correlação, embora estatisticamente significativos se mostraram bastante baixos.

Confirma-se, dessa forma, uma vez mais, agora do ponto de vista anatômico, a importância do lenho tardio sobre a densidade básica da madeira.

O comprimento dos traqueídeos para ambos os lenhos só não mostrou correlação com o diâmetro do lúmen. Os valores dos coeficientes de correlação se apresentaram bastante elevados para largura e espessura de parede.

Desta forma, o traqueídeo mais longo também é o mais largo e com maior espessura de parede.

A largura dos traqueídeos só se mostrou correlacionada com o diâmetro do lúmen para o lenho inicial. Por outro lado, para os dois tipos de lenhos, quanto maior a largura dos traqueídeos, maior também se mostrou a espessura das paredes. O índice de enfeltramento, quando relacionado com a largura, apresentou valor elevado somente para o lenho tardio. Por outro lado, os traqueídeos do lenho inicial não apresentaram correlação nenhuma entre a largura, quando relacionada com o coeficiente de flexibilidade, fração parede e índice de Runkel.

O diâmetro do lúmen mostrou alta correlação com o coeficiente de flexibilidade, fração parede e índice de Runkel para os traqueídeos do lenho tardio.

A Tabela 48 apresenta os resultados das análises químicas

da madeira integral de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. De uma maneira geral os resultados estão de acordo com valores anteriormente obtidos por FOELKEL (1973), CORREA e LUZ (1976) e BRITO *et alii* (1978) que ensaiaram material colhido no Brasil. A partir de material amostrado em diferentes condições, PALMER e GIBBS (1968, 1969, 1971, 1972 e 1976) registram menores teores de holocelulose e maiores teores de lignina.

Os rendimentos, percentagens de rejeitos e números de permanganato das celuloses, produzidas a partir de madeira integral, são mostrados na Tabela 49. O aumento do teor de álcali ativo, expresso como Na_2O , se fez sentir diminuindo os valores dos parâmetros citados, como era de se esperar, pelo fato de ter ocorrido uma maior remoção de lignina (RYDHOLM, 1965).

Conforme exposto no item 3.2.5.2., discos tomados a 1,2 m foram separados em três frações, denominadas A, B e C. A fração A incluia material correspondente aos anéis de 1 a 5, a fração B, madeira entre os anéis 6 a 10 e, finalmente, a fração C, a madeira mais externa, ou seja, além do anel de número 11.

Isso foi feito baseando-se nas observações das variações das densidades básicas e características das fibras dos anéis de crescimento, a partir da medula. Com isso procurou-se separar três tipos distintos de madeira: um primeiro tipicamente juvenil, um segundo intermediário e, finalmente, um terceiro caracteristicamente adulto.

Segundo KIRK *et alii* (1972), RENDLE (1960), ZOBEL *et alii* (1959), PAUL (1957) e EINSPAHR (1976) a madeira juvenil se caracteriza por

apresentar menores densidades e dimensões de fibras. FOELKEL *et alii* (1976) afirmam que o período de juvenibilidade é marcado por variações intensas das características físicas e anatômicas da madeira.

Por outro lado, a separação em apreço foi efetuada objetivando-se, também, analisar resíduos de lamination (predominantemente provenientes da fração A) e resíduos de serraria (principalmente derivados da fração C) para casos de utilização em indústrias integradas horizontalmente. Isto porque a tendência atual é para o uso da madeira de uma maneira integrada, procurando explorar ao máximo, dos pontos de vista técnico e econômico, as potencialidades da matéria-prima. Este fato é reforçado quando se trata da utilização da madeira proveniente de segundo e terceiro desbaste e mesmo de corte final, quando as peças já possuem diâmetros que as tornam aproveitáveis para lamination e serraria.

A Tabela 50 fornece os resultados encontrados para as percentagens em volume e em peso, das frações A, B e C, em função do disco todo e relações entre essas percentagens. Em média, a fração A apresentou 28,6 % em volume e 24,2% em peso. A fração B, 33,5% em volume e 34,1% em peso e, finalmente, a fração C, 37,9% em volume e 41,7% em peso. As relações entre percentagem em volume e em peso se mostraram crescente de A para C, decorrência do aumento da densidade básica que ocorre entre elas.

As correlações entre as percentagens em peso e em volume para as frações A, B e C, englobando as três conjuntamente, se mostraram altamente significativas. Assim sendo, é possível se converter um tipo de expressão da proporção dos diferentes tipos de madeira em outro, utilizando as equações mostradas na Tabela 51. Tal fato é sobretudo importante em es-

tudos de inventário, quando se procurar quantificar os teores de madeira juvenil e adulta.

A Tabela 52 apresenta as densidades básicas das frações estudadas. Como pode ser observado, as densidades são crescentes devido a um aumento relativo dos teores de lenho tardio.

No que diz respeito à composição química (Tabela 53), as frações B e C apresentam valores próximos, indicando que, após o 5º ou 6º ano de plantio, é atingida uma relativa estabilidade neste particular. Comparando-as com a madeira tipicamente juvenil (fração A) esta última apresenta menores teores de holocelulose e maiores quantidades de lignina, pentosanas, cinzas e extractivos solúveis em água quente e álcool-benzeno.

O reflexo do menor teor de holocelulose na fração A se traduziu por menor rendimento quando se produziu celulose, como pode ser observado na Tabela 54.

As Tabelas 55 a 126 apresentam as equações testadas para explicar as variações das resistências físico-mecânicas em função do grau de refinação (^0SR), análises de variâncias para os modelos selecionados e estimativas dos parâmetros.

Segundo PEREIRA (1969), a determinação de uma equação, que relacione as variáveis citadas, possibilita estimar os valores a serem alcançados ao longo da refinação, como um interessante meio auxiliar no controle de qualidade da produção.

Para as resistências à tração, ao arrebentamento e ao ras-

go, o melhor modelo foi

$$\ln R = a + b/SR$$

onde,

R = resistência físico-mecânica

SR = grau de refinação

a e b = parâmetros

Por outro lado, para peso específico aparente o modelo selecionado foi

$$PE = a + B/SR$$

onde,

PE = peso específico aparente

SR = grau de refinação

a e b = parâmetros

Comparando-se os valores das resistências físico-mecânicas, interpolados para 45°SR, das celuloses obtidas nos cozimentos(1), (2) e (3), observa-se que o aumento do teor de álcali ativo favorece a resistência à tração e ao arrebentamento. Isto porque, um menor teor de lignina, dentro de certos limites, aumenta as ligações entre as fibras que se mostram mais flexíveis e com maior superfície de contato entre os grupos hidroxílicos das moléculas de celulose.

Essa maior aproximação entre as fibras também se reflete pelos valores crescentes dos pesos específicos das folhas de celulose.

A resistência ao rasgo, que depende fundamentalmente da resistência intrínseca da fibra, não apresentou um padrão definido de variação em função do teor de álcali ativo. É de se esperar, todavia, que o aumento do teor de álcali ativo colabore para uma menor resistência ao rasgo, pelo possível ataque sobre a estrutura das moléculas de celulose.

Comparando-se os valores encontrados com os registrados na literatura, os presentes resultados confirmam aqueles relatados por CORREA e LUZ (1976) e BRITO *et alii* (1978) que usaram metodologia semelhante para refinação e testes da celulose. Por outro lado, torna-se problemática sua comparação com os apresentados por Palmer e Gibbs, já citados, pelo fato destes autores terem utilizado distintos equipamentos de produção e processamento da celulose.

Utilizando-se as equações para as resistências físico-mecânicas para as frações A, B e C, obtidas dos discos tomados a 1,2 m, e interpolando-as para grau de moagem igual a 45⁰SR, observa-se que as resistências à tração, ao arrebentamento e peso específico aparente são crescentes. Por outro lado, a resistência ao rasgo é decrescente no mesmo sentido.

Tal fato está ligado à predominância de lenho inicial na fração A. Conforme anteriormente ressaltado, as fibras do lenho inicial, pelo fato de possuirem fibras mais curtas e paredes menos espessas, durante a refinação sofrem colapso, o que favorece as ligações entre fibras e consequentemente às resistências à tração e ao arrebentamento. Todavia, são mais fracas que aquelas do lenho tardio e consequentemente a celulose mostra uma menor resistência ao rasgo.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo o estudo das principais características da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sua variabilidade entre e dentro das árvores da espécie. Por outro lado, procurou-se correlacionar as variações encontradas com a produção e qualidade da celulose kraft.

Foram utilizadas 10 árvores com 16 anos de idade, coletadas na região de Agudos, São Paulo ($22^{\circ} 20'$ a $22^{\circ} 29'$ de latitude Sul e $48^{\circ} 51'$ a $48^{\circ} 49'$ de longitude Oeste de Greenwich, clima Cwa, segundo o sistema de Köppen e solo latossol vermelho escuro, fase arenosa).

De cada árvore foram retirados discos na base (altura de corte) e a cada 1,2 m até o limite comercial de diâmetro.

Cada disco foi utilizado para a determinação da densidade básica.

Nos discos tomados a 1,2 m, foram determinadas as densidades básicas e as dimensões das fibras, lenho a lenho, no sentido medula casca,

bem como as percentagens de lenho em volume, em peso, correlações entre estes parâmetros, e equações de regressão em função do número do anel.

Visando a produção de celulose, foram retiradas amostras proporcionais de todos os discos. Dos discos tomados a 1,2 m foram retiradas sub-amostras, representando as madeiras juvenil, intermediária e adulta e determinadas suas proporções em peso e em volume.

Após as amostras serem transformadas manualmente em cavacos, foram analisadas sob o aspecto químico e utilizadas na produção de celulose pelo processo kraft.

Para cada cozimento efetuado, foram calculados os rendimentos obtidos e investigadas as seguintes propriedades físico-mecânicas da celulose: resistência à tração, ao arrebentamento, ao rasgo e peso específico aparente.

A partir dos dados obtidos, foram estabelecidas equações de regressão para as propriedades físico-mecânicas da celulose, em função do grau de refinação.

Da discussão dos resultados podem ser tiradas as conclusões seguintes:

1. A espécie apresenta uma variação estatisticamente significativa da densidade básica entre e dentro das árvores. Todavia, o teste de Tukey mostrou que, quando se compara as médias das densidades básicas das

árvore, nas diferentes posições (variação longitudinal), só é encontrada diferença mínima significativa entre os discos da base e tomados a 1,2 m contra os restantes. A partir do disco tomado a 2,4 m não é encontrada diferença mínima significativa.

2. A variação longitudinal da densidade pode ser matematicamente expressa pela equação:

$$\log d_b = -0,336276 - 0,015661H + 0,000984H^2$$

onde,

d_b = densidade básica (g/cm^3)

H = altura (m)

3. A variação radial da densidade (sentido medula-casca) não mostra um padrão definido, quando os lenhos são analisados isoladamente. Considerando-se ambos os lenhos de cada anel, a densidade aumenta rapidamente nos anéis próximos a medula, permanecendo, a seguir, mais ou menos constante.

Comparando-se anel por anel, a densidade do lenho tardio se mostrou de 30 a 100% maior que a densidade do lenho inicial.

4. Foram encontradas correlações lineares, estatisticamente significativas, entre densidade básica e percentagem de lenho tardio, tanto em volume como em peso.

5. A percentagem em peso do lenho tardio é cerca de 1,7 a 2,3 vezes maior que a percentagem em volume, devido a sua maior densidade, quando comparado com o lenho inicial.

6. Os comprimentos e larguras dos traqueídeos, tanto para lenho inicial como tardio, mostraram um aumento acentuado, praticamente linear até o 5º e 6º anel de crescimento, características típicas de madeira juvenil. A partir do 7º anel, o aumento do comprimento é menos acentuado tendendo para um valor mais ou menos constante.

Os melhores modelos matemáticos testados, que expressam as variações dos comprimentos e larguras dos traqueídeos em função do número do anel de crescimento, foram:

$$\log CLI = 0,695679 - 0,340366 /A$$

$$\log CLT = 0,722763 - 0,380334 /A$$

$$\log LLI = 1,698053 - 0,088147 /A$$

$$\log LLT = 1,682013 + 0,1099116 /A$$

onde,

CLI = comprimento do traqueídeo do lenho inicial (mm)

CLT = comprimento do traqueídeo do lenho tardio (mm)

LLI = largura do traqueídeo do lenho inicial (μ)

LLT = largura do traqueídeo do lenho tardio (μ)

A = número do anel de crescimento

7. Os diâmetros dos lúmens e espessuras das paredes dos traqueídeos não apresentaram modelo definido de variação, no sentido medula-casca. Dentro de cada anel, os traqueídeos do lenho inicial apresentaram maior diâmetro de lúmen e menor espessura de parede.

8. Observando-se os índices entre as dimensões dos traqueídeos, o lenho tardio se caracterizou por apresentar maiores índices de en-

feltramento, frações parede e índices de Runkel e menores coeficientes de flexibilidade.

9. De uma maneira geral, as correlações estabelecidas entre densidades básicas e dimensões dos traqueídeos dos lenhos, foram mais significativas e em maior número para o lenho tardio que para o lenho inicial.

10. As composições químicas do material integral, madeira juvenil, intermediária e adulta se mostraram dentro dos padrões normais registrados para a espécie.

11. O aumento do teor de álcali ativo diminuiu os rendimentos em celulose do processo, teores de rejeito e número de permanganato para a madeira integral.

12. As correlações entre as percentagens em peso e em volume, para as madeiras juvenil, intermediária e adulta, se mostraram altamente significativas, estando relacionadas com as respectivas densidades básicas.

13. A madeira juvenil, devido ao fato de possuir menor teor de holocelulose, produziu celulose com rendimento sensivelmente menor, quando comparado com os outros tipos de madeira.

14. A determinação das equações, relacionando as resistências físico-mecânicas em função do grau de refinação, expresso como grau Schopper-Riegler, mostrou serem os melhores modelos os seguintes:

14.1. Para resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo:

$$\ln R = a + b/SR$$

onde,

R = resistência físico-mecânica

SR = grau de refinação

a e b = parâmetros

14.2. Para peso específico aparente (PE)

$$PE = a + b/SR$$

15. O aumento do álcali ativo produziu, a partir de madeira integral, celulose com maiores resistências à tração e ao arrebentamento e menores pesos específicos aparentes.

16. Quanto à madeira juvenil, intermediária e adulta, as resistências à tração, ao arrebentamento e peso específico aparente das celuloses se mostraram decrescentes de uma para outra, o contrário ocorrendo com a resistência ao rasgo.

17. Infere-se do exposto, que a espécie, nas condições do presente ensaio, passa a formar madeira com características de adulta no 5º ou 6º ano após o plantio. Da proporção entre cada tipo de madeira dependerá as características da celulose a ser obtida. Consequentemente, a idade de corte será decidida em função da qualidade do produto final desejado, quanto às suas propriedades de resistência.

7. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The purpose of this study was to determine the variability patterns within and among trees from *Pinus caribaea* var. *hondurensis* plantations for the following wood characteristics: specific gravity (basic density), fiber dimensions, amount of early and latewood and chemical composition. The correlation between those wood characteristics and the yield and quality of kraft pulp was also determined.

Ten trees were selected from a 16-year-old plantation located in the region of Agudos, State of Sao Paulo ($22^{\circ}20'$ to $22^{\circ}29'$ South Latitude and $48^{\circ}51'$ to $48^{\circ}49'$ West Longitude, climate Cwa according to Köppen classification and dark-red latosol, sand-phase soil).

Disc wood samples were obtained from felled trees at intervals of 1.2 m, beginning at the base of the basal bolt and ending at a diameter of 6 cm outside bark. Specific gravity was carried out for each disc within each tree.

Specific gravity and fiber dimensions from pith to bark of

early and latewood were determined, only on the disc taken at 1.2 m high, as well, volume and weight percentage of early and latewood.

Correlations between those variables and regression equations using growth ring number as independent variable and specific gravity, fibers dimensions and percentage of early and latewood, each one as dependent variables, were determined.

From each disc were taken samples for pulp production and sub-samples for juvenile, intermediate and mature wood determination (volume and weight based).

The wood samples were chipped for chemical analysis and kraft pulp productions.

Pulp yield, physical-mechanical properties, like, tensile, bursting and tearing strengths, and apparent specific gravity of the sheets were carried out for each cooking.

Regression equations of the physical-mechanical properties on beating degree were also determined.

From the analysis of the results the following conclusions could be drawn:

1. There are significative variations within and among trees for wood specific gravity. Within trees, the discs, taken from the base and from 1.2 m high were significantly different from the discs taken at 2.4, 3.6 and so on, up to the commercial top.

2. Longitudinal variation of wood specific gravity can be expresses, mathematically, by the function:

$$\log d_b = -0.336276 - 0.015661 H + 0.000984 H^2$$

where

d_b = specific gravity (g/cm^3)

H = height (m)

3. There is no definite pattern in radial (from pith to bark) variation in specific gravity when early and latewood are separately analysed. Grouping early and latewood in each growth ring, specific gravity increases rapidly from the rings near the pith and stays approximately constant to bark.

Latewood specific gravity was 30 to 100% greater than earlywood with the same annual ring.

4. Wood specific gravity is linearly related to both volume and weight latewood percentage.

5. The weight latewood percentage is 1.7 to 2.3 times greater than volume latewood percentage, due to its greater specific gravity when compared to earlywood.

6. Tracheid lengths and widths for early and latewood showed a sharp increasing up to the fifth and sixth growth ring, which is typical for juvenile wood. From the seventh ring, these fiber dimensions increase slowly up to a constant value.

The following mathematical models were determined to explain length and width variations as function of the number of growth ring:

$$\log \text{CLI} = 0.695679 - 0.340366/A$$

$$\log \text{CLT} = 0.722763 - 0.380334/A$$

$$\log \text{LLI} = 1.698053 - 0.088147/A$$

$$\log \text{LLT} = 1.682013 - 0.109116/A$$

where

CLI = earlywood tracheid length (mm)

CLT = latewood tracheid length (mm)

LLI = earlywood tracheid width (μ)

LLT = latewood tracheid width (μ)

A = number of growth ring

7. Tracheid lumen diameter and cell wall thickness did not present a definite model to explain the variation from pith to bark. Earlywood tracheids have greater lumen diameter and lower cell wall thickness than latewood tracheids.

8. The indexes related to tracheid dimensions such as felting coefficient, wall fraction and Runkel index are bigger in the latewood than in the earlywood. Therefore the coefficient of flexibility is lower in latewood than in the earlywood.

9. Generally, the correlations between specific gravity and tracheid dimensions were higher for latewood than for earlywood.

10. Chemical compositions of juvenile, intermediate and

mature wood were within the standards for the species.

11. Increasing the active alkali amount, decrease pulp yield, screening amount and permanganate number.

12. Correlations between weight and volume percentages for juvenile, intermediate and mature wood were highly significant. Weight and volume percentages were correlated to specific gravity.

13. Juvenile wood, due the fact that it has a lower amount of holocellulose, compared to intermediate and mature wood, showed a lower pulp yield.

14. The following models were chosen to explain the relationship between physical-mechanical properties of the pulp and beating degree (Schopper-Riegler degree):

14.1. For tensile, bursting and tearing strengths:

$$\ln R = a + b/SR$$

where

R = physical-mechanical propertie

SR = beating degree

a and b = parameters estimated through least-square method

14.2. For apparent specific gravity (PE)

$$PE = a + b/SR$$

15. Increasing the active alkali amount, increases tensile and bursting strength and decreases tearing strength and apparent specific gravity of the pulp sheets.

16. From juvenile to mature wood, tensile, bursting and apparent specific gravity of the pulpsheets decrease but tearing strength increases.

17. It can be set up that for the conditions of this study, mature wood begins to be formed the fifth and sixth year after planting. The properties of the pulp depend on the porportion of juvenile-mature wood. Consequently, the rotation age is function of wood properties required by the wood based industry.

8. BIBLIOGRAFIA

ABCP - Normas de ensaio da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, São Paulo, Brasil.

AMARAL, A.C.; M. FERREIRA e H.T.Z. COUTO, 1977. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. IPEF, Piracicaba, (15): 47-67.

BAREFOOT, A.C.; R.G. HITCHINGS e E.L. ELLWOOD, 1964. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines. I. Effect of fiber morphology under identical cooking conditions. TAPPI, Atlanta, 46(6): 343-55.

BAREFOOT, A.C.; R.G. HITCHINGS e E.L. ELLWOOD, 1966. Wood characteristics and kraft paper properties for four selected loblolly pines. III. Effect of fiber morphology on pulps examined at a constant permanganate number. TAPPI, Atlanta, 49(4): 137-47.

BAREFOOT, A.C. e R.G. HITCHINGS, 1970. The relationship between loblolly pine fiber morphology and kraft paper properties. *Tech. Bull. N.C. Agric. Exp. Sta.* nº 202. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford 32(4). 1971.

BARRET, W.H.G. e L. GOLFARI, 1962. Descripción de dos nuevas variedades del "Pino del Caribe" (*Pinus caribaea* Morelet). *Caribbean Forester*, Rio Piedras 23(2). 13p.

BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1976. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. *PRODEPEF. Série Divulgação*, Brasília (13): 1-145.

BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1977. Variações das características da madeira de *Eucalyptus grandis* e suas correlações com a produção de celulose. *Congresso Anual da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel*, 10, São Paulo. Trabalhos Técnicos. p. 41-46.

BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1978. A madeira de *Pinus taeda* como matéria-prima para celulose kraft. I. Influência dos teores de lenhos. *Congresso Florestal Brasileiro*, Manaus, (3): 1-18.

BERTOLANI, F. e N. NICOLIELO, 1977. *Performance and tree improvement programme of tropical pines in the region of Agudos*. São Paulo, Brasil, Agudos, CAFMA. 15 p. (mimeografado).

BETHUNE, J.E., 1968. Manipulation of stand density in planted southern pines for maximum pulp yield. *TAPPI*, Atlanta, 51(7): 57A-59A.

BLAIR, B.L.; B.J. ZOBEL e J.A. BARKER, 1975. Predictions of gain in pulp yield and tear strength in young loblolly pine through genetic increases in wood density. *TAPPI*, Atlanta, 58(1): 89-91.

BOSSHARD, H.H. e L. KUCERA, 1973. On initial and end zones of annual rings. *Holzs als Roh-und Werkstoff*. 31(12): 484-486. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 36(3). 1975.

BRITO, J.O.; L.E.G. BARRICHELO e R.C.D. GARLIPP, 1978. Avaliação técnico-econômica da produção de celulose de madeira não-descascada de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis*. *O Papel*, São Paulo, 49(12): 154-232.

BROWNING, B.L. 1963. *The Chemistry of Wood*. John Wiley. New York. 689 p.

BURLEY, J.; J.F. HUGHES; P. FRANKLIN e I. GOURLAY, 1971. Summary report on variation in density and tracheid length of ten trees of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. and Golf. from Jamaica. Apud: BURLEY, J. & NIKKLES, D.G. *Selection and Breeding to Improve Some Tropical Conifers*, Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973 p. 72-85.

BYRD, V.L., 1965. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines. Part II. Wood chemical constituents and their relationship to fiber morphology. *Forest Products Journal*, Madison, 15(8): 313-20.

CHANG, C.I. e R.W. KENNEDY, 1967. Influence of specific gravity and growth rate on dry wood production in plantation-grown white spruce. *Forestry Chronicle*, Quebec, 43(2): 165-73.

CHITTENDEN, A.E. et alii, 1967. The pulping properties of *Pinus caribaea*.

Commonw. For. Rev. 46(1): 22-35. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford,
28(4). 1967.

COLE, D.E.; B.J. ZOBEL e J.H. ROBERTS, 1966. Slash, loblolly and longleaf
pine in a mixed natural stand. A comparison of their wood properties,
pulp yields and paper properties. *TAPPI*, Atlanta, 49(4): 161-6.

COMISSÃO DE SOLOS, 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado
do São Paulo. *Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas*,
São Paulo, (12) 634 p.

CORREA, A.A. e C.N.R. LUZ, 1976. Essência papeleira de reflorestamento. O
Pinus caribaea (variedade hondurensis) introduzido na Amazônia. *Con-*
gresso Anual da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, São
Paulo, (11): 1-13.

DADSWELL, H.E. e J.W.P. NICHOLS, 1959. Assessment of wood qualities for
tree breeding. I. In *Pinus elliottii* var. *elliottii* from Queensland.
Div. For. Prod. Technol. Pap. For. Prod. Aust. Nº 4. 16 p. Apud:
Forestry Abstracts, Oxford, 21(2). 1960.

DINWOODIE, J.M., 1966. The influence of anatomical and chemical
characteristics of softwood fibers on the properties of sulfate pulp.
TAPPI, Atlanta, 49(2): 57-67.

DUFFIELD, J.W., 1964. Tracheid length variation patterns in douglas-fir
and selection of extreme variants. *TAPPI*, Atlanta, 47(2): 122-8.

EINSPAHR, D.W., 1976. The influence of short-rotation forestry on pulp and paper quality. I. Short-rotation conifers. *TAPPI*, Atlanta, 59(10): 53-6.

FARR, W.A., 1973. Specific gravity of western hemlock and sitka spruce in Southeast Alaska. *Wood Science*, Madison, 6(1): 9-13.

FERREIRA, C.A. e M. FERREIRA, 1969. Estudos preliminares da varriação da densidade básica em *Pinus oocarpa*, *P. caribaea*, *P. Khasya* e *P. elliotii*. *O Solo*, Piracicaba, 61(2): 39-41.

FOELKEL, C.E.B.; M.A.M. BRASIL e L.E.G. BARRICHELO, 1971. Métodos para a determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. *IPEF*, Piracicaba (2/3): 65-74.

FOELKEL, C.E.B., 1973. *Unbleached kraft pulp properties of some of the Brazilian and U.S. Pines*. Syracuse, State University of New York, N.Y. (tese de mestrado) 192 p.

FOELKEL, C.E.B. e L.E.G. BARRICHELO, 1975. *Tecnologia de Celulose e Papel*. Piracicaba, USP-ESALQ-CALQ. 207 p.

FOELKEL, C.E.B.; A.S. DINIZ; W. GARCIA e M. FERREIRA, 1975. Estudo da influência da densidade da madeira nas propriedades das celuloses kraft de *Pinus elliottii* obtidas a uma mesma condição de cozimento. *O Papel*, São Paulo, 36: 65-69.

FOELKEL, C.E.B., 1976. Celulose kraft de *Pinus* spp. *O Papel*, São Paulo, (37): 49-67.

FOELKEL, C.E.B.; L.E.G. BARRICHELO; W. GARCIA e J.O. BRITO, 1976. Celulo se kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. IPEF, Piracicaba, (12): 127-42.

FOELKEL, C.E.B.; W. GARCIA; J.H. NEHRING; A.S. DINIZ e J.V. GONZAGA, 1977. *Pinus elliottii*: Fibra longa para produção de celulose. Congresso Anual da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, São Paulo, (10): 127-37.

FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1973. Standards terms for describing wood. USDA Forest Service Research Paper, Forest Products Laboratory, Madison, (0171): 1-10.

FURNIVAL, G.M., 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science*, Madison, 7(4): 337-41.

GEARY, T.F. e F.R. MACIA SANABRIA, 1973. Density of the juvenile wood of *Pinus caribaea* var.*hondurensis* grown in subtropical moist and wet life zones of Puerto Rico. *Turrialba*, 23(4): 477-80.

GLADSTONE, W.T.; A.C. BAREFOOT e B.J. ZOBEL, 1970. Kraft pulping of earlywood and latewood from loblolly pine. *Forest Products Journal*, Madison, 20:(20): 17-24.

GLADSTONE, W.T. e G. IFJU, 1974. Some influences of wood morphology on kraft pulping of loblolly pine. *TAPPI Forest Biology Conference*, Seattle, 13-19.

GODDARD, R.E. e D.E. COLE, 1966. Variation in wood production of six-year-old progenies of selected slash pines. *TAPPI*, Atlanta, 49(8):359-62.

GUTH, E.B. 1973/74. Variation in wood characters, both within and between individuals of *Pinus elliottii*. IDIA. *Suplemento Forestal* (8): 8-17. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 37(6). 1976.

HALE, J.D., 1962. Minimum requirements for defining species norms for quality of variable woods. *TAPPI*, Atlanta, 45(7): 538-542.

HAMILTON, J.R. e MATTHEWS, 1965. Wood characteristics of planted loblolly and shortleaf pine. *Georgia Forest Research Paper*. (27): 1-5.

HEGER, L., 1974a. Longitudinal variation of specific gravity in stems of black spruce, balsam fir, and lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, 4(30): 321-6.

HEGER, L., 1974b. Relationship between specific gravity and height in the stem of open-and forest-grown balsam fir. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, 4(4): 477-81.

HILDEBRANDT, G., 1962. The effect of growth conditions on the structure and properties of wood. *World Forestry Congress 5*, Washington, (3): 1348-53.

HORN, R.A., 1974. Morphology of wood pulps fiber from softwoods and influence on paper strength. *USDA forest Service Research Paper*, *Forest Products Laboratory*, Madison, (242): 1-11.

HUGHES, J.F., 1971. The wood structure of *Pinus caribaea* Morelet in relation to use characteristics, growth conditions and tree improvement. In: BURLEY, J. & NIKKLES, D.G. *Selection and breeding to improve some tropical conifers*. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. p. 13-22.

JACKSON, L.W.E. e R.K. STRICKLAND, 1962. Geographic variation in tracheid length and wood density of loblolly pine. *Res. Pap. Ga. For. Res. Coun.* n° 8, 4 p. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 24(4). 1963.

JOHANSSON, D., 1940. About early-and latewood in Swedish spruce and pine and their influence on properties of sulphite and sulphate pulps. *Holz Roh-Werkstoff* 3: 73-78.

JONES, E.D.; R.T. CAMPBELL e G.G. NELSON JR., 1966. Springwood-summerwood separation of southern pine pulp to improve paper qualities. *TAPPI*, Atlanta, 49(9): 410-4.

JOHNSTONE, W.D., 1970. Some variations in specific gravity and moisture content of 100-year-old lodgepole pine trees. *Inform. Rep. For. Res. Lab.*, n° A-X-29. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 32(1): 1971.

KIRK, D.G.; L.G. BREEMAN e B.J. ZOBEL, 1972. A pulping evaluation of juvenile loblolly pine. *TAPPI*, Atlanta, 55(11): 1600-1604.

KLEM, G.S., 1958. Quality of wood from fertilized forests. *TAPPI*, Atlanta, 51(11): 99A-103A.

KLEPPE, P.J., 1970. A review: the process of, and products from, kraft pulping of southern pine. *Forest Products Journal*, Madison, 20(5):50-9.

KOCH, P., 1972. *Utilization of the Southern Pines*. Washington, U.S. Department of Agriculture Forest Service. 734 p.

LARSON, P.R., 1957. Effect of environment on the percentage of summerwood and specific gravity of slash pine. *Yale University. School of Forestry Bulletin*, (63):1-89.

LEDIG, F.R.; B.J. ZOBEL e M.F. MATHIAS, 1975. Geoclimatic patterns in specific gravity and tracheid length in wood of pitch pine. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, 5(2): 318-29.

LUCKHOFF, H.A., 1964. The natural distribution, growth and botanical variation of *Pinus caribaea* and its cultivation in South Africa. *Annale Universiteit Van Stellenbosch* 39-A (1): 146-7.

MAEGLIN, R.R., 1976. Natural variation of tissue proportions and vessel and fiber length in mature northern red oak. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 25(3-4): 122-6.

MILLER, S.R., 1959. Variation in inherent wood characteristics in slash pine. *Proc. 5th Sth. Conf. For Tree Impr.*, Raleigh, 1959 (97-106). Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 21(3). 1960.

MITCHELL, H.L., 1956. Breeding for high-quality wood. *USDA Forest Research Paper. Forest Products Laboratory*, Madison, (2050): 1-13.

MITCHELL, H.L. e P.R. WHEELER, 1959. Specific gravity: a measure of intrinsic wood quality. *Proc. Soc. Amer. For.* 1959, 1960 (53-7). Apud *Forestry Abstracts*, Oxford 21(3). 1960.

MOORE, W.E. e D.B. JOHNSON, 1967. Procedures for the chemical analysis of wood and wood products (as used at the U.S. Forest Products Laboratory). *Forest Products Laboratory, Forest Service. U.S. Department of Agriculture*. Madison, Wisconsin, 8 p.

NAMKOONG, G.; A.C. BAREFOOT e R.G. HITCHINGS, 1969. Evaluating control of wood quality through breeding. *TAPPI*, Atlanta, 52(10): 1935-8.

PALMER, E.R. e T.B. PEH, 1966. Pulping studies on Malayan exotic species.
Forest Research Institute. Research Pamphlet(55): 1-18.

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1967. The pulping characteristics of *Pinus caribaea* from Sabah. Tropical Products Institute Report, London, (12): 1-23.

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1968. The pulping characteristics of *Pinus caribaea* from Fiji. Tropical Products Institute Report, London, (14): 1-27.

PALMER, E.R. e C.B. TABB, 1968. The production of pulp and paper from coniferous species grown in the tropics. Tropical Science, London, 10(2): 79-99.

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1969. The pulping characteristics of *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret and Golfari from two sites in Trinidad. Tropical Products Institute Report, London, (15): 1-49.

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1971. The pulping characteristics of *Pinus caribaea* from Seaqaqa, Fiji. Tropical Products Institute Report, London, (24): 1-23.

PALMER, E.R. e C.B. TABB, 1971. *Pinus caribaea* Morelet its potencial as pulpwood. In: BURLEY, J. & NIKKLES, D.G. Selection and breeding to improve some tropical conifers, Oxford, Commonwealth Forestry Institutue. 1973. p. 23-45.

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1972. The pulping characteristics of *Pinus caribaea* from the main growing areas in Fiji, 1971. *Tropical Products Institute Report*, London, (27): 1-60.

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1973. Pulping characteristics of three trees of *Pinus caribaea* with different densities grown in Jamaica. *Tropical Products Institute Report*, London, (30): 1-24.

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1974. Pulping characteristics of nine-year old *Pinus caribaea* from Sabah. *Tropical Products Institute Report*, London. (25): 1-37 .

PALMER, E.R. e J.A. GIBBS, 1976. Pulping characteristics of *Pinus caribaea* from Belize. *Tropical Products Institute Report*, London, (43): 1-43.

PANSHIN, A.J. e C. DE ZEEUW, 1970. *Textobook of Wood Technology*. New York. Mc Graw-Hill. 705 p.

PAUL, B.H., 1957. Juvenile wood in conifers. *USADA Foreste Service Research Paper*, Forest Products Laboratory, Madison, (2094): 1-8.

PEARSON, R.G. e R.C. GILMORE, 1971. Characterization of the strength of juvenile wood of loblolly pine. (*Pinus taeda L.*). *Forest Products Journal*, Madison, 21(1): 23-31.

PEREIRA, R.A.G., 1969. *Estudo comparativo das propriedades fisico-mecânicas da celulose sulfato de madeira de Eucalyptys saligna Smith, Eucalyptus alba Reim e Eucalyptus grandis Hill ex Maiden*. Piracicaba, ESALQ-USP (tese de doutorado) 129 p.

POLLER, E. e R. ZENKER, 1968. Comparative anatomical, chemical, and pulping studies on old and young pinewood. *Zellstoff Papier* 17(1):20-5. Apud: *ABIPC*, 39(1), 1968.

PRONIN, D. e L.E. LASSEN, 1970. Evaluating quaking aspen of Wisconsin for a site-quality to wood-quality relationship. *USDA Forest Service Research Paper, Forest Products Laboratory*, Madison, (141): 1-8.

RENDLE, B.J., 1960. Juvenile and adult wood. *Journal of The Institute of Wood Science*, 5: 58-61.

RISI, J. e E. ZELLER, 1960. Specific gravity of the wood of black spruce (*Picea mariana* Mill) grown on a *Hylocomium-cornus* site type. *Laval University. Foreste Research Fundation* (6): 1-70.

RYDHOLM, S.A., 1965. *Pulping Processes*. John Wiley. New York. 1269 p.

SCHNIEWIND, A.P., 1961. The effect of site and other factors on specific gravity and bending strength of California red fir. *Forest Science*, Madison, 7(2): 106-115.

SELLERS, T. Jr., 1962. Factors influencing the wood quality of plantation-grown slash pine. *Forest Products Journal*, Madison, 12(9): 443-6.

SMITH, W.E. e V.L. BYRD, 1972. Fiber bonding and tensile stress-strain properties of early-wood and latewood handsheets. *USDA Forest Service Research. Forest Products Laboratory*, Madison, (193): 1-9.

SMITH, W.J., 1971. Wood yield, properties and quality in Queensland - grow *Pinus caribaea* Morelet. In: BURLEY, F. & NIKKLES, D.G. *Selection and breeding to improve some tropical conifers*, Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. p. 45-69.

TAPPI - Testing Procedures of Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Estados Unidos.

UPRICHARD, J.M., 1970. Pulps from New Zealand grown *Pinus patula* and *P.taeda*. *Appita*, Melbourne, 24(1): 52-9.

VAN BUIJTENEN, J.P., 1964. Anatomical factors influencing wood specific gravity of slash pines and the implications for the development of a high-quality pulpwood. *TAPPI*, Atlanta, 47(7): 401-5.

VAN BUIJTENEN, J.P., 1969. Controlling wood properties by forest management. *TAPPI*, Atlanta, 52(2): 257-9.

VZPCI - Normas de ensaio da Verein der Zellstoff - Und Papier - Chemiker Und - Ingenieure. Alemanha.

WAHLGREN, H.E. e D.L. FASSNACHT, 1959. Estimating tree specific gravity from a single increment core. *USDA Forest Service Research Paper, Forest Products Laboratory*, Madison, (2146): 1-25.

WAHLGREN, H.E. e D.R. SCHUMAN, 1972. Properties of major southern pines. *USDA Forest Service Research Paper, Forest Products Laboratory*, Madison, (176):1-57.

WATSON, A.J. e H.E. DADSWELL, 1962. Influence of fibre morphology on paper properties. 3. Length: diameter (L/D) ratio. 4. Micellar spiral angle. *Appita*, Melbourne, 17(6): 146-50.

WATSON, A.J.; H.G. HIGGINS e W.J. SMITH, 1971. The pulping and papermaking properties of conifers from Queensland plantations. *CSIRO. Division of Forest Products Technological Paper*, Melbourne, (61): 1-20.

WHEELER, E.Y.; B.J. ZOBEL e D.L. WEEKS, 1966. Tracheid length and diameter variation in the bole of loblolly pine. *TAPPI*, Atlanta, 49(11): 484-90.

WORRAL, J.; J. BURLEY; E.R. PALMER e J.F. HUGHES, 1977. Properties of some Caribbean Pine (kraft) pulps and their relationship to wood specific gravity variables. *Wood Fiber*, 8(4): 228-34. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 49(3). 1978.

ZIMMERMANN, M.H. e C.L. BROWN, 1974. *Trees Structure and Function*. New York, Springer-Verlag. 336 p.

ZOBEL, B.J. e R.R. RHODES, 1955. Relationship of wood specific gravity in loblolly pine to growth and environmental factor. *Texas Forest Service Technical Reprint*, (11): 1-32.

ZOBEL, B.J.; C. WEBB e F. HENSON, 1959. Core or juvenile wood of loblolly pine trees. *TAPPI*, Atlanta, 42(5): 345-56.

ZOBEL, B.J.; E. THORBJORSEN e F. HENSON, 1960. Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 9(6): 149-58.

ZOBEL, B.J., 1961. Inheritance of wood properties in conifers. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 10(3): 65-96.

ZOBEL, B.J. e R.C. KELLISON, 1971. Should wood be included in a pine tree improvement programme? In: BURLEY, J. & NIKKLES, D.G. *Selection and breeding to improve some tropical conifers*. Osford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. p. 4-12.

ZOBEL, B.L., 1974. *Tree improvement*. Raleigh. North Carolina State University. p. 85-102.

ZOBEL, B.J., 1976. Wood properties as affected by changes in the wood supply of southern pines. *TAPPI*, Atlanta, 59(4): 126-8.

ZOBEL, B.J.; B.J. JETT e R. HUTTO, 1978. Improving wood density of short-rotation southern pines. *TAPPI*, Atlanta, 61(3): 41-4.

APENDICE

Tabela 127. Resultados das leituras dos ensaios físico-mecânicos para o cimento (1) da madeira integral..

^a SR	gramatura ⁽¹⁾	tração ⁽²⁾	arrebentamento ⁽³⁾	rasgo ⁽⁴⁾	espessura ⁽⁵⁾
15	62,3	2,4 2,1	0,9 1,0	46	87,5
		1,8 1,7	0,9 1,0	45	89,0
		1,9 1,5	1,1 1,1	44	90,5
		2,2 2,7	1,0 1,1	44	90,5
		2,4 2,0	0,9 0,9	47	92,0
18	59,3	4,7 5,2	2,2 2,6	34	58,5
		4,8 4,8	2,6 3,1	33	58,5
		5,4 4,4	3,2 3,2	32	59,0
		4,7 5,0	2,9 3,0	33	59,5
		5,1 5,1	2,1 3,0	34	57,5
35	58,7	5,6 4,8	3,1 3,3	25	55,5
		5,5 5,2	2,5 3,0	24	56,0
		5,6 5,4	3,2 2,9	26	56,0
		4,9 5,2	2,8 2,7	25	55,5
		5,7 5,8	2,8 2,4	24	54,0
47	58,4	5,4 4,8	3,1 3,2	22	54,0
		4,8 7,2	3,2 3,0	23	54,0
		6,0 5,0	2,4 2,6	23	54,0
		5,0 5,0	2,8 3,3	24	55,0
		7,1 6,4	2,7 2,8	22	53,5
64	58,2	5,4 4,6	2,2 2,2	20	53,0
		4,2 5,5	2,3 2,4	21	55,0
		5,2 6,8	2,4 2,3	20	53,5
		6,2 4,6	2,5 2,6	19	54,5
		4,8 5,4	2,1 2,2	19	54,0

Unidades: (1) g/m²; (2)kg; (3) kg/cm²; (4) g para 5 corpos de prova; (5) 10² mm para 5 corpos de prova.

Tabela 128. Resultados das leituras dos ensaios físico-mecânicos para o cimento (2) da madeira integral.

o SR	gramatura ⁽¹⁾	tração ⁽²⁾	arrebentamento ⁽³⁾	rasgo ⁽⁴⁾	espessura ⁽⁵⁾
15	61,8	2,8 2,4	1,2 1,2	51	82,5
		2,4 2,0	1,2 1,2	52	84,0
		2,0 3,2	1,4 1,4	56	82,5
		2,8 2,8	1,4 1,6	60	84,0
		2,4 2,6	1,6 1,4	55	80,0
23	58,9	5,7 5,2	2,8 3,2	32	55,0
		4,8 5,2	3,2 2,4	32	55,0
		5,2 5,8	2,9 3,1	33	55,0
		6,0 6,4	3,0 3,3	33	55,0
		6,2 6,1	3,2 2,3	30	55,0
31	60,1	7,3 7,6	2,8 3,4	28	53,5
		7,2 6,0	3,3 3,9	30	53,0
		6,8 6,0	3,0 3,1	27	53,0
		5,0 5,3	3,1 3,3	31	53,0
		5,4 5,6	3,4 2,8	28	52,0
46	58,5	4,8 5,5	3,2 2,7	26	52,5
		5,8 6,0	2,9 3,0	26	52,5
		6,0 6,5	2,9 2,9	26	52,0
		6,1 6,2	2,7 3,1	25	53,0
		5,4 5,6	3,0 2,9	26	52,5
64	59,4	6,5 5,5	2,7 3,3	23	52,0
		5,6 6,6	2,7 2,6	22	52,0
		7,1 7,8	3,0 3,4	21	52,0
		6,6 6,2	3,1 3,2	21	52,5
		6,8 6,4	2,9 3,1	20	52,5

Unidades: (1) g/m²; (2)kg; (3) kg/cm²; (4) g para 5 corpos de prova; (5) 10² mm para 5 corpos de prova.

Tabela 129. Resultados das leituras dos ensaios físico-mecânicos para o co
zimento (3) da madeira integral.

ºSR	gramatura ⁽¹⁾	tração ⁽²⁾	arrebentamento ⁽³⁾	rasgo ⁽⁴⁾	espessura ⁽⁵⁾
12	63,2	2,5	2,3	1,0	1,1
		1,6	2,8	1,0	1,0
		3,1	2,4	1,0	1,0
		2,4	2,5	0,8	1,1
		2,8	2,6	1,0	1,0
20	61,1	5,9	5,0	2,8	2,6
		4,5	5,2	2,8	3,1
		5,3	6,4	3,3	3,2
		6,0	4,6	3,0	2,5
		6,2	4,5	2,2	2,7
37	63,4	5,1	5,2	2,7	3,0
		5,4	5,6	3,0	3,0
		6,6	5,4	2,8	3,1
		4,2	4,6	3,4	3,4
		6,8	6,5	2,8	2,9
53	63,1	7,1	7,2	3,5	3,5
		7,2	8,2	3,2	4,4
		7,1	7,2	3,9	3,5
		8,0	7,4	3,1	2,8
		7,3	7,0	3,0	3,2
60	61,1	6,4	6,4	3,5	2,9
		7,3	7,3	4,1	3,4
		7,6	7,8	3,4	3,6
		6,4	7,2	2,5	4,0
		7,6	7,5	3,0	3,5

Unidades: (1) g/m²; (2) kg; (3) kg/cm²; (4) g para 5 corpos de prova; (5) 10²
mm para 5 corpos de prova.

**Tabela 130. Resultados das leituras dos ensaios físico-mecânicos para o co
zimento da madeira da fração A (madeira juvenil).**

SR	gramatura (1)	tração (2)	arrebentamento (3)	rasgo (4)	espessura (5)
13	62,4	2,0 1,8	0,8 0,8	48	85,0
		2,5 2,2	1,0 1,0	46	85,0
		2,2 1,8	1,0 0,7	49	81,5
		1,8 2,0	1,1 1,2	51	87,0
		2,2 1,8	1,0 0,8	47	85,5
13	60,5	5,2 5,2	3,3 2,9	40	56,0
		5,0 5,0	2,9 3,2	40	54,5
		5,0 5,0	2,6 2,3	42	56,0
		5,0 5,4	3,1 3,4	38	55,0
		4,5 5,3	3,1 3,0	37	54,5
32	57,9	7,4 7,0	3,9 3,7	28	48,0
		7,5 8,0	4,0 3,7	32	48,0
		7,3 6,0	4,8 3,5	27	47,5
		5,6 6,8	3,4 3,9	26	48,0
		6,5 8,1	3,9 3,0	30	48,0
49	57,6	5,4 5,7	2,8 3,1	24	46,5
		6,5 6,0	3,2 3,5	23	48,0
		4,7 4,8	3,7 2,8	25	47,5
		6,8 7,0	2,7 3,2	25	47,0
		7,0 6,8	3,5 2,8	23	48,0
68	57,3	6,4 5,2	3,0 3,0	21	45,0
		5,6 6,2	3,1 3,4	22	45,5
		6,1 6,0	3,0 3,0	20	46,0
		5,7 7,2	3,0 3,1	20	45,5
		7,4 6,2	3,2 3,0	19	45,5

Unidades: (1) g/m²; (2) kg; (3) kg/cm²; (4) g para 5 corpos de prova; (5) 10² mm para 5 corpos de prova.

Tabela 131. Resultados das leituras dos ensaios físico-mecânicos para o cimento da madeira da gração B (madeira intermediária).

SR	gramatura ⁽¹⁾	tração ⁽²⁾	arrebentamento ⁽³⁾	rasgo ⁽⁴⁾	espessura ⁽⁵⁾
12	62,0	1,7	1,7	0,8	84,5
		2,0	1,4	0,7	89,0
		1,4	1,7	0,8	83,5
		1,6	1,9	0,8	89,5
		2,0	1,9	0,8	80,5
24	58,4	4,6	5,2	2,4	52,5
		4,9	5,4	2,3	52,5
		5,8	4,8	2,6	53,5
		5,6	5,8	3,0	53,5
		5,4	5,7	2,3	51,5
32	58,5	4,9	5,0	2,6	52,0
		5,1	4,4	2,8	53,0
		4,4	5,0	2,5	53,5
		5,2	4,2	2,7	53,0
		4,6	5,0	2,3	53,0
59	57,0	5,1	6,4	3,3	50,0
		6,6	5,2	3,2	50,5
		5,2	5,7	3,0	49,0
		5,5	5,8	2,8	49,5
		5,4	5,3	3,1	49,0
78	58,0	6,0	8,1	2,4	46,5
		7,7	6,5	2,6	47,5
		6,6	6,1	2,9	46,5
		6,0	6,2	2,9	46,5
		6,3	6,2	2,5	46,0

Unidades: (1) g/m²; (2) kg; (3) kg/cm²; (4) g para 5 corpos de prova; (5) 10² para 5 corpos de prova.

Tabela 132. Resultados das leituras dos ensaios físico-mecânicos para o co
zimento da madeira da fração C (madeira adulta).

ºSR	gramatura ⁽¹⁾	tração ⁽²⁾	arrebentamento ⁽³⁾	rasgo ⁽⁴⁾	espessura ⁽⁵⁾
13	64,5	1,3	1,8	0,7	88,0
		1,6	1,2	0,8	86,0
		1,0	1,8	1,0	87,0
		1,6	1,6	0,8	86,5
		1,6	1,2	0,6	85,5
23	61,3	3,2	4,4	2,0	59,0
		4,4	4,8	2,9	57,5
		4,4	5,0	2,3	56,5
		5,2	4,9	2,4	57,5
		3,9	4,1	3,0	57,0
47	60,6	4,4	4,4	2,5	54,0
		4,6	5,0	2,3	54,5
		4,8	4,0	2,2	55,0
		3,9	3,8	2,5	53,0
		4,0	4,7	2,6	54,5
60	60,7	4,3	4,7	3,1	51,5
		4,8	5,0	2,3	53,0
		5,6	5,4	2,5	53,5
		5,2	5,9	2,9	53,0
		5,4	4,1	2,6	52,5
75	61,2	6,0	5,7	2,3	50,0
		5,2	4,5	2,9	50,5
		4,6	4,8	2,8	50,5
		5,2	4,2	2,5	50,0
		4,2	5,6	2,5	50,0

Unidades: (1) g/m²; (2)kg; (3) kg/cm²; (4) g para 5 corpos de prova; (5) 10² para 5 corpos de prova.