

FRANCISCO JUVENAL LIMA FRAZÃO

ESTUDOS TECNOLÓGICOS DA POLPAÇÃO KRAFT DE Didymopanax morototoni
(Aubl.) DCne & Planch (MOROTOTÓ) E Cedrelinga
catenaeformis Ducke (CEDRORANA)

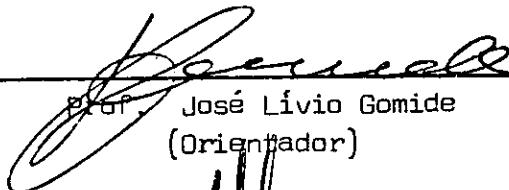
Tese Apresentada à Universi
dade Federal de Viçosa, como Parte
das Exigências do Curso de Ciência
Florestal, para obtenção do Grau de
"Magister Scientiae".

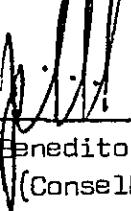
ESTUDOS TECNOLÓGICOS DA POLPAÇÃO KRAFT DE Didymopanax morototoni
(Aubl.) DCne & Planch (MOROTOTÓ) E Cedrelina
catenaeformis Ducke (CEDRORANA)

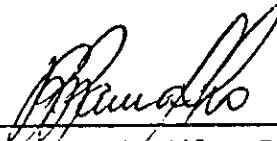
por

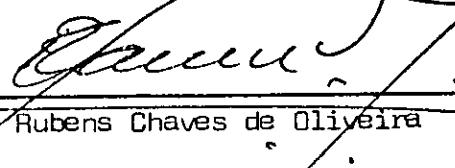
FRANCISCO JUVENAL LIMA FRAZÃO

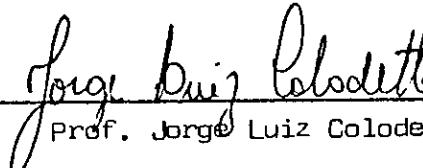
APROVADA:


Prof. José Lívio Gomide
(Orientador)


Prof. Benedito Rocha Vital
(Conselheiro)


Prof. Roberto da Silva Ramalho
(Conselheiro)


Prof. Rubens Chaves de Oliveira


Prof. Jorge Luiz Colodette

Ao meu pai Francisco,
A minha mãe Mary,
Aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Orientador, José Lívio Gomide, pela orientação,
pelos ensinamentos ministrados e pelo estímulo.

Ao Professor Benedito da Rocha Vital, pela orientação na execu-
ção das análises estatísticas.

Ao Professor Roberto da Silva Ramalho, pela ajuda prestimosa
na orientação da descrição anatômica.

Aos Professores Rubens Chaves de Oliveira e Jorge Luiz Col-
lette, pelas valiosas sugestões.

Ao Professor Ricardo Marius Della Lúcia, pelas facilidades re-
ferentes a assuntos pessoais.

Ao Professor Celso Edmundo Bochetti Foelkel, pelo interesse e
dedicação demonstrados.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), nas
pessoas do Dr. Henrique Bergamin Filho, Diretor, e Antonio de Azevedo
Corrêa, responsável pela Divisão de Celulose e Papel, pelo suporte
financeiro concedido durante o período de afastamento.

A Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de
Engenharia Florestal, que propiciou este estudo.

A Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), pela disponibilida-
de e inestimável colaboração de seus técnicos e funcionários durante
as visitas a essa entidade.

Aos colegas do curso, pela amizade e colaboração.

Ao colega Paulo Inácio Pereira, procurador no INPA durante o curso.

Aos funcionários do Laboratório de Celulose e Papel, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, e dos Laboratórios de Celulose e Papel e de Dendrologia, da Universidade Federal de Viçosa, pela cooperação.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

FRANCISCO JUVENAL LIMA FRAZÃO, filho de Francisco Augusto de Abreu Frazão e Mary Lima Frazão, nasceu em Santarém, Estado do Pará, em 25 de julho de 1948.

Fez os cursos primário, ginásial e científico no Colégio Dom Amando, em Santarém.

Em 1973, obteve o título de Químico Industrial, pela Universidade Federal do Pará.

Em fevereiro de 1976, foi contratado, como Assistente de Pesquisa nível III, pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), onde exerce suas atividades profissionais.

Em 1979, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa. Em julho de 1983, concluiu os requisitos necessários para a obtenção do grau de "Magister Scientiarum".

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
EXTRATO	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Marototó: <u>Didymopanax morototoni</u> (Aubl.) DCNE & Planch.	3
2.2. Cedrorana: <u>Cedrelinga catenaeformis</u> Ducke	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Determinação da densidade básica das madeiras	8
3.2. Estudos anatômicos e preparo de lâminas das madeiras amazônicas	9
3.3. Determinação das dimensões das fibras, dos elementos vasculares e das relações entre as dimensões das fibras	9
3.4. Análises químicas das madeiras	10
3.5. Produção de celulose	10
3.5.1. Cozimentos preliminares	11
3.5.2. Cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas	11
3.6. Análise estatística	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14

Página

4.1. Descrição anatômica da madeira de <u>Didymopanax morototoni</u> (Aubl.) DCNE & Planch	14
4.1.1. Características gerais	14
4.1.2. Descrição macroscópica	14
4.1.3. Descrição microscópica	15
4.2. Descrição anatômica da madeira de <u>Cedrelinga catenaeformis</u> Ducke	17
4.2.1. Características gerais	17
4.2.2. Descrição macroscópica	17
4.2.3. Descrição microscópica	19
4.3. Dimensões das fibras e dos elementos vasculares	22
4.4. Análises químicas e densidade básica das madeiras	32
4.4.1. Solubilidade em água fria	32
4.4.2. Solubilidade em água quente	32
4.4.3. Solubilidade em álcool/benzeno	39
4.4.4. Solubilidade em NaOH 1%	39
4.4.5. Hemicelulose	39
4.4.6. Pentosanas	40
4.4.7. Lignina	40
4.4.8. Cinzas	40
4.4.9. Densidade básica	41
4.5. Deslignificação das madeiras: cozimentos preliminares.	41
4.6. Cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas	48
4.6.1. Análises dos licores residuais	48
4.6.2. Propriedades físico-mecânicas das polpas	53
4.6.2.1. Refino	53
4.6.2.2. Resistência à tração	53
4.6.2.3. Alongamento	62
4.6.2.4. Resistência ao arrebentamento	62
4.6.2.5. Resistência ao rasgo	65

	Página
4.6.2.6. Densidade aparente	71
4.6.2.7. Volume específico	74
5. RESUMO E CONCLUSÃO	77
6. LITERATURA CITADA	79
APÊNDICES	82
Apêndice A - Constituição química e resultados dos cozimentos, preliminares e para determinação das propriedades físico-mecânicas, das madeiras de morototó, <u>cedro rana</u> e <u>E. grandis</u>	83
Apêndice B - Análises e resultados dos licores residuais dos cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	87
Apêndice C - Comprimentos de auto-ruptura, alongamentos, índices de arrebentamento e índices de rasgo das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	90

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Dimensões e inter-relações das fibras das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	23
2 Dimensões dos elementos vasculares das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	33
3 Constituição química e densidade básica das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	38
4 Influência do álcali ativo no rendimento, total e depurado, no teor de rejeitos e no número kappa das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	42
5 Equações matemáticas do rendimento, total e depurado, do teor de rejeitos e do número kappa, em relação ao álcali ativo, das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	43
6 Características dos cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas celulósicas, das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	51

Quadro	Página
7 Resultados das análises dos licores residuais dos cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	52
8 Valores médios e respectivos desvios-padrão das propriedades físico-mecânicas das polpas de morototó, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	54
9 Valores médios e respectivos desvios-padrão das propriedades físico-mecânicas das polpas de cedrorana, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	55
10 Valores médios e respectivos desvios-padrão das propriedades físico-mecânicas das polpas de <u>E. grandis</u> , nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	56
11 Análise da variância das propriedades físico-mecânicas e do grau de refino das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	57
12 Equações matemáticas das propriedades físico-mecânicas, em relação ao tempo de refino, das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	58
13 Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da resistência à tração, expressos em comprimento de auto-ruptura, em km, das espécies de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> , nos tempos de refino de 0 a 120 minutos ..	60
14 Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios do alongamento, expressos em percentagem, das espécies de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> , nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	63

Quadro	Página
15 Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das espécies de morototó, cedro rana e <u>E. grandis</u> , nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	66
16 Análise da variância da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	68
17 Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das espécies de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> , nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	69
18 Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da densidade aparente, expressos em g/cm^3 , das espécies de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> , nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	72
19 Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios do volume específico, expressos em cm^3/g , das espécies de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> , nos tempos de refino de 0 a 120 minutos	75

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Corte transversal da madeira de morototó, evidenciando poros, geralmente solitários, em distribuição difusa uniforme	16
2 Fibras e elemento vascular da madeira de morototó, evidenciando a perfuração simples, apresentando apêndice e pontuado alterno	16
3 Corte tangencial da madeira de morototó, evidenciando raios multisseriados, elementos vasculares e tecido parenquimatoso	18
4 Corte radial da madeira de morototó, evidenciando raios heterogêneos e pontuações rádio-vasculares	18
5 Corte transversal da madeira de cedrorana, evidenciando poros solitários em distribuição difusa uniforme .	20
6 Fibras, células de parênquima e elemento vascular da madeira de cedrorana, evidenciando perfuração simples e pontuado alterno	20

Figura	Página
7 Corte tangencial da madeira de cedrorana, evidenciando elementos vasculares com inclusões, parênquima paratraqueal e predomínio dos raios unisseriados	21
8 Corte radial da madeira de cedrorana, evidenciando raios homogêneos e parênquimas, paratraqueal e apotraqueal	21
9 Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, das fibras de morototó	24
10 Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, das fibras de cedrorana	24
11 Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, das fibras de <u>E. grandis</u>	25
12 Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, das fibras de morototó	26
13 Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, das fibras de cedrorana	26
14 Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, das fibras de <u>E. grandis</u>	27
15 Distribuição de freqüência relativa, por classe de diâmetro do lúmen, das fibras de morototó	28
16 Distribuição de freqüência relativa, por classe de diâmetro do lúmen, das fibras de cedrorana	28
17 Distribuição de freqüência relativa, por classe de diâmetro do lúmen, das fibras de <u>E. grandis</u>	29

Figura	Página
18 Distribuição de freqüência relativa, por classe de es pessura da parede, das fibras de morototó	30
19 Distribuição de freqüência relativa, por classe de es pessura da parede, das fibras de cedrorana	30
20 Distribuição de freqüência relativa, por classe de es pessura da parede, das fibras de <u>E. grandis</u>	31
21 Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, dos elementos vasculares de morototó ...	34
22 Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, dos elementos vasculares de cedrorana ..	34
23 Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, dos elementos vasculares de <u>E. grandis</u> .	35
24 Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, dos elementos vasculares de morototó	36
25 Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, dos elementos vasculares de cedrorana	36
26 Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, dos elementos vasculares de <u>E. grandis</u>	37
27 Efeito estimado do álcali ativo no rendimento total das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	44
28 Efeito estimado do álcali ativo no rendimento depura do das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> ...	46

Figura	Página
29 Efeito estimado do álcali ativo no teor de rejeitos das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	47
30 Efeito estimado do álcali ativo no número kappa das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	49
31 Efeito estimado da deslignificação (número kappa) no rendimento, total e depurado, da polpação kraft das madeiras de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	50
32 Efeito estimado do tempo de refino no grau Schopper-Riegler das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	59
33 Efeito estimado do tempo de refino no comprimento de auto-ruptura das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	61
34 Efeito estimado do tempo de refino no alongamento das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	64
35 Efeito estimado do tempo de refino no índice de arrebentamento das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u>	67
36 Efeito estimado do tempo de refino no índice de rasgo das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> ...	70
37 Efeito estimado do tempo de refino na densidade aparente das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> .	73
38 Efeito estimado do tempo de refino no volume específico das polpas de morototó, cedrorana e <u>E. grandis</u> ...	76

EXTRATO

FRAZÃO, Francisco Juvenal Lima, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 1983. Estudos tecnológicos da polpação kraft de Didymopanax morototoni (Aubl.) Dcne & Planch (morototó) e Cedrelinga catenaeformis Ducke (cedrorana). Professor Orientador: José Lívio Gomide. Professores Conselheiros: Benedito Rocha Vital e Roberto da Silva Ramalho.

Foram estudadas duas espécies tropicais da região Amazônica, o morototó, Didymopanax morototoni (Aubl.) Dcne & Planch, e a cedrorana, Cedrelinga catenaeformis Ducke, com o objetivo de avaliar suas potencialidades para a produção de celulose pelo processo Kraft. O Eucalyptus grandis, espécie largamente utilizada, no Brasil, na produção de celulose, foi também analisado, para efeito de comparação.

Foram determinadas as características anatômicas e químicas e as densidades das três madeiras. As fibras das madeiras amazônicas apresentaram dimensões maiores que as do E. grandis. As madeiras de morototó e cedrorana apresentaram menores teores de holocelulose e teores mais elevados de lignina, de extractivos e de cinzas que os de E. grandis. A densidade das madeiras amazônicas foi inferior à do E. grandis.

Estudos de deslignificação, com o emprego de diferentes álcalis ativos, demonstraram, por meio de equações matemáticas obtidas através de análise de regressão, maior exigência de álcali das madei-

ras amazônicas para a obtenção de um mesmo nível de deslignificação.

Maior resistência à tração e maior resistência ao rasgo foram apresentadas pelo morototó e pelo E. grandis, respectivamente. As três espécies apresentaram valores similares de resistência ao arrebentamento e ao alongamento.

Esses resultados demonstram que as madeiras de cedrorana e de morototó são de boa qualidade para a produção de celulose kraft.

1. INTRODUÇÃO

A magnitude dos recursos florestais brasileiros, consequência da extensão territorial e da situação tropical predominante, é pouco aproveitada, considerando seu potencial.

O Brasil é detentor da maior reserva florestal tropical do mundo: só a Amazônia brasileira cobre cerca de 280 milhões de hectares. As florestas tropicais africanas e asiáticas, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), deverão desaparecer nos próximos 20 anos. Esses fatos poderão dar ao país a invajável posição de celeiro mundial de madeiras tropicais, tendo em vista que a Amazônia dispõe de mais de 45 bilhões de metros cúbicos de madeira em pé, segundo BERUTTI (4).

A possibilidade do aproveitamento industrial de grande parte das madeiras da Amazônia tem sido questionada, entre outras razões, pela falta de melhores e maiores conhecimentos tecnológicos, que possibilitem a avaliação das características e das qualidades das madeiras da região, viabilizando seu aproveitamento.

Cálculos globais, em termos de espécies florestais, indicam que a Floresta Amazônica é constituída por 12% de espécies tipo exportação, 17% de espécies utilizadas no mercado interno, 19% de espécies utilizadas regionalmente e 32% de espécies técnica e comercialmente desconhecidas (17).

A simples existência de florestas não significa que elas possam ser utilizadas para fins industriais, uma vez que diversos fatores técnicos e econômicos podem influenciar negativamente. As características das espécies, a concentração por área, a extensão coberta, as condições de exploração, a localização do parque industrial, o valor das terras, etc., são fatores que podem ser limitantes.

Para que a Floresta Amazônica possa vir a ser utilizada racionalmente, é necessário que sejam realizados estudos de classificação e de caracterização das madeiras.

Os pesquisadores de áreas florestais tropicais concordam, em linhas gerais, que as florestas naturais tropicais não são a melhor fonte de matéria-prima madeireira. A conversão dessas florestas em maciços florestais mais homogêneos, com o aproveitamento das essências nativas, é a medida normalmente recomendada.

Com o objetivo de fornecer dados silviculturais de essências nativas, o Departamento de Silvicultura do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) vem desenvolvendo estudos em diferentes tipos de experimentos. Duas espécies, com boas características silviculturais, oriundas desses experimentos, o Didymopanax morototoni (Aubl.) DCne & Planch (morototó) e a Cedrelinga catenaeformis Ducke (cedrorana), foram selecionadas para avaliação de suas potencialidades para a produção de celulose kraft, visando a fornecer subsídios às indústrias nacionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Morototó: Didymopanax morototoni (Aubl.) DCNE & PLANCH

O morototó pertence ao gênero Didymopanax, da Araliaceae, e é encontrado no Brasil, desde o Amazonas até o Paraná, na Argentina, Peru, Venezuela, Bolívia, Porto Rico, Trinidad e Panamá, segundo LOUREIRO e SILVA (15), SUDAM (26). Ocorre, mais frequentemente, nas matas de terra firme, em solo argiloso ácido e em capoeiras velhas (LOUREIRO et alii, 17).

Didymopanax é gênero tropical americano e, embora muitas das suas espécies tenham sido descritas, a mais conhecida e amplamente distribuída é o Didymopanax morototoni (Aubl.) DCNE & PLANCH, segundo RECORD e HESS (22). A árvore do morototó é de tamanho médio a grande - alcança cerca de 30 metros de altura e 75 centímetros de diâmetro - e é característica de floresta aberta. O caule apresenta cor cinzenta e brilho médio. Sua densidade varia de muito leve a moderadamente pesada.

Com o objetivo de selecionar espécies promissoras para plantio, YARED et alii (29) realizaram estudos de competição de espécies na Floresta Nacional do Tapajós. Dados de altura, diâmetro e sobrevivência foram medidos e analisados estatisticamente, tendo sido, também, efetuadas observações das características silviculturais das espécies. Foram comparadas 16 espécies, 14 delas de ocorrência natural na Amazô-

nia. O morototó foi classificado entre as 4 espécies consideradas mais promissoras.

FACÉS (11), após estudos realizados na região de Curuá-Una, Pará, considerou principais características das árvores de morototó sua cor, amarelo-palha, e sua copa, em forma de folhas digitadas. Quase sempre, são altas e delgadas; ocorrem no planalto e, às vezes, no flanco do planalto. A madeira é macia e pesada, quando verde.

Pesquisadores da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM (26) descreveram o morototó como árvore de porte médio - pode alcançar até 30 metros de altura - crescimento rápido, fuste reto e cilíndrico e copa pequena, com ramificação apenas no ápice. Em plantios artificiais, apresenta bom índice de sobrevivência (80%), poder germinativo de 10 a 30%, tempo de germinação de 5 a 7 semanas e incremento volumétrico de 37,241 m^3 /ha/ano.

LOUREIRO e SILVA (15) descreveram o morototó como árvore com possibilidades ornamentais, pelo seu rápido crescimento e magnífico aspecto: 8 a 30 metros de altura e caule cilíndrico. Além da descrição macroscópica, os autores forneceram informações sobre distribuição geográfica, características gerais e usos comuns.

HAGER (12) estudou as características físico-mecânicas de madeiras da região Amazônica, dentre as quais figurou o morototó. Foram estudadas duas propriedades físicas (peso específico e retratibilidade) e suas mecânicas (flexão estática, choque, dureza Janka, fendilhamento e tração normal às fibras).

Objetivando divulgar dados da estrutura anatômica do lenho de madeiras leve e de cor clara, utilizadas principalmente em caixotarias, as quais, apesar de serem diferentes quanto às propriedades mecânicas, apresentam semelhanças no aspecto, na cor e no peso, o que ocasiona dificuldades de identificação, MAINIERE (19) realizou estudos sobre o morototó, visando assegurar sua identificação.

Cارacterísticas botânicas e silviculturais do morototó foram

estudadas por BUCH e LIMA (7), que demonstraram a potencialidade dessa espécie para possíveis programas de reflorestamento, em maciços puros, no Norte e Nordeste brasileiro. Descreveram sua madeira como clara e leve, com boas características para uso em diferentes ramos industriais e citaram a existência de um pequeno plantio experimental da SUDAM, em Curuá-Una, e outro da Fósforo do Norte S.A. (FOSNOR).

LE COINTE (14) descreveu a madeira de morototó como de cor branca a pardo-clara, homogênea, tenra e porosa, muito freqüente entre os rios Mapuera e Jamundá, afluentes do Tapajós. Pode ser utilizada em marcenaria e na indústria papeleira.

Trabalho de pesquisa realizado por CARVALHO (8) demonstrou a exeqüibilidade do morototó, tanto isoladamente como em mistura com outras espécies amazônicas, como matéria-prima para a produção de celulose e papel. As propriedades físico-mecânicas das polpas kraft do morototó demonstraram semelhança marcante com as das polpas obtidas de mistura de outras madeiras tropicais.

Trabalhando com 12 espécies da região Amazônica, OVERBECK (21) verificou que o morototó foi uma das que apresentaram maior facilidade de deslignificação kraft, bom rendimento em celulose e melhores características de resistências.

2.2. Cedrorana: Cedrelinga catenaeformis Ducke

A cedrorana pertence a Leguminosae Mimosoideae e é encontrada com maior freqüência no Estado do Pará, mas também ocorre no Estado do Amazonas, nos municípios de Parintins, Waupés, São Paulo de Olivença e Tabatinga. Ocorre também em Yurimágua, no Peru, e em Leticia, na Colômbia. Seu "habitat" natural são as matas altas de terra firme, preferencialmente as nascentes, os cursos superiores dos riachos e as margens baixas dos igarapés, em terreno argiloso (16).

A madeira da cedrorana assemelha-se à do cedro, porém é pouco

mais grosseira, de acordo com SILVA (25). É árvore de grande porte, casca grossa, rugosa, ocorrendo principalmente em solo úmido, nas margens de igarapés. As flores são sésseis, verde-amareladas, e os frutos são legumes, equidistantemente articulados, pendentes; quando maduros, quebram-se nas articulações.

FROES (11) incluiu a cedrorana no grupo das árvores mais altas da floresta, com ocorrência em toda a Amazônia. O autor ressaltou a semelhança dessa espécie com outras e, forneceu informações para seu reconhecimento.

Árvores de cedrorana alcançam de 30 a 48 metros de altura e diâmetro à altura do peito (DAP) de 1,5 a 2,7 metros. Desenvolvem-se bem em terra firme da região Amazônica (22). A árvore apresenta cerne marrom-claro, com brilho dourado. Embora não utilizada, comercialmente, sua madeira é indicada para construções em geral e fabricação de móveis não muito caros.

LOUREIRO et alii (16) descreveram a cedrorana como árvore de grande porte, com tronco de até 2 metros de diâmetro. Entre outras características gerais, os autores ressaltaram que a madeira era fácil de ser trabalhada, recebendo bom acabamento. Forneceram, também, algumas informações a respeito de seus elementos fibrosos.

Estudando 21 espécies de interesse econômico para a Amazônia, ALENCAR e ARAÚJO (1) compararam o crescimento em altura e em diâmetro e a percentagem de sobrevivência em duas condições de luminosidade. Os autores recomendaram a cedrorana, dentre outras, para futuros reflorestamentos, em plena abertura, na Amazônia.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas duas espécies da região Amazônica, o morototó, Didymopanax morototoni (Aubl.) DCne & Planch, e a cedrorana, Cedrelinga catenaeformis Ducke, ambas com 8 anos de idade, coletadas de parcelas experimentais localizadas em Manaus, Estado do Amazonas, a 44 metros de altitude e, aproximadamente, 60° de longitude Oeste de Greenwich e 2° 30' de latitude Sul. O Eucalyptus grandis, espécie de uso generalizado para a produção de celulose, no Brasil, foi incluído no estudo para efeito comparativo.

O povoamento de morototó foi feito em 1973, para estudos de crescimento e de seu comportamento diante do ataque de insetos e fungos. O plantio foi realizado em plena abertura, com preparo convencional da área, ou seja, desmatamento e queimada, em espaçamentos de 3,00 x 3,00 metros, numa área de 2500 metros quadrados, em solo tipo arenoso-argiloso (10).

O povoamento de cedrorana foi feito em 1973, com o objetivo de verificar seu desenvolvimento em altura e diâmetro, em linha de enriquecimento, sob sombra parcial de floresta. O espaçamento utilizado nesse experimento foi de 2,50 metros entre mudas e 10 metros entre linhas, cobrindo uma área de 2500 metros quadrados, em solo argiloso (10).

O Eucalyptus grandis, com 9 anos de idade, foi coletado de um plantio experimental, feito em 1971, localizado em Viçosa, MG, prove-

niente de sementes oriundas de Coff's Harbour, N.S.W., Austrália (longitude $152^{\circ} 55''$, latitude $30^{\circ} 0'$ e altitude de 300 metros).

De cada espécie da região Amazônica foram amostradas três árvores representativas do povoamento, com boa forma e vigor florestal. Foi medido o diâmetro à altura do peito, com e sem casca. As árvores de morototó apresentaram DAP de 18,2, 18,8 e 19,6 cm com casca e de 17,1, 17,5 e 18,1 cm sem casca. As árvores de cedrorana apresentaram DAP de 15,5, 17,6 e 22,2 cm com casca e 14,5, 16,5 e 21,2 cm sem casca. As árvores de morototó apresentaram alturas comerciais de 10,0, 11,2 e 11,8 m; as de cedrorana, de 9,9, 10,2 e 11,0 m.

Foram amostradas 6 árvores de E. grandis, com médias de altura e de DAP de 24,3 m e 29 cm, respectivamente.

Os troncos das árvores amazônicas foram descascados manualmente e seccionados em toras de 1,20 m de comprimento, a partir da base, até um diâmetro mínimo comercial de 7 cm. Foram retirados discos do DAP, com 3 cm de espessura, para estudos anatômicos. As toras foram reduzidas a cavacos com picador de laboratório "Appleton", com potência de 15 HP e velocidade do disco de 500 rpm. As árvores de E. grandis foram seccionadas em toras de 2,0 m de comprimento, descascadas manualmente e transformadas em cavacos com o uso de picador industrial. Os cavacos, após classificação em peneiras manuais de 1,9 x 1,9 cm e 0,5 x 0,5 cm, foram secados ao ar e armazenados em sacos de poliestileno.

3.1. Determinação da densidade básica das madeiras

Foi utilizada a forma mais usual de expressar a densidade da madeira que é a densidade básica, ou seja, a relação entre o peso absolutamente seco, em gramas ou toneladas, e o volume, em centímetros cúbicos ou metros cúbicos, respectivamente, quando em estado de completa saturação em água. A densidade básica das madeiras foi determinada com o uso do método TAPPI T 258 os-76 (28).

3.2. Estudos anatômicos e preparo de lâminas das madeiras amazônicas

Amostras de madeiras foram registradas no Setor de Anatomia de Madeira do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e no Setor de Dendrologia da Universidade Federal de Viçosa, onde foram realizados estudos anatômicos. Para as descrições anatômicas, seguiram-se as normas COPANT (9).

Dos discos de 3 cm de espessura, cortados nos DAP's, foram retiradas amostras em forma de cubos de 1 cm de aresta. Essas amostras foram fervidas em água, com adição de pequena quantidade de glicerina, para amaciamento e maior facilidade de corte no micrótomo. Cortes das seções transversal, radial e tangencial foram coloridos com solução de safranina e montados, com bálsamo-do-canadá, em lâminas de microscópio. Foram confeccionadas 6 lâminas por espécie, e cada lâmina foi constituída das três seções coloridas e "in natura".

3.3. Determinação das dimensões das fibras, dos elementos vasculares e das relações entre as dimensões das fibras

Pequenos palitos de madeira foram tratados com solução macerante constituída por ácido acético glacial e água oxigenada 130 V (1:1), a $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$, por 20 horas, para individualização das fibras e dos demais componentes anatômicos. Foram determinadas as seguintes dimensões das fibras: comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular. Dos elementos vasculares, foram medidos o comprimento e a largura. As medições foram realizadas com microscópio óptico, com aumentos de 40 vezes (comprimento das fibras, largura e comprimento dos elementos vasculares) e 320 vezes (largura e lúmen das fibras). Foram realizadas 200 medições para cada característica, por espécie.

Foram determinadas as seguintes relações entre as dimensões das

fibras consideradas importantes:

- Coeficiente de flexibilidade: relação percentual entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra.
- Índice de enfeltramento: relação entre o comprimento e a largura da fibra.
- Índice de Runkel: relação entre duas vezes a espessura da parede celular e o diâmetro do lúmen.
- Fração parede: relação percentual entre duas vezes a espessura da parede celular e a largura da fibra.

3.4. Análises químicas das madeiras

A determinação dos teores de lignina, de cinzas e das solubilidades foi realizada segundo as normas da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (ABCP, 3). A determinação de holocelulose foi feita utilizando a solução de clorito de sódio e ácido acético, tamponada para pH 4,7. O teor de pentosanas foi determinado pelo método brometo-bromato, segundo BROWNING (6). Para a determinação dos elementos minerais, a serragem passou por digestão nitroperclórica. A determinação colorimétrica de fósforo foi realizada pelo método da "Vitamina C", segundo BRAGA e DEFELIPO (5). O teor de potássio foi determinado por meio de fotômetro de chama. Os teores de cálcio, magnésio e zinco foram determinados por meio da técnica de absorção atômica. O teor de sílica foi determinado tratando a cinza residual com HBr 48%, segundo SILVA (24).

3.5. Produção de celulose

O processo utilizado na polpação das madeiras foi o kraft, selecionado por ser, mundialmente, o processo dominante para a produção de polpa celulósica. Foram realizados, basicamente, duas séries de

cozimentos kraft: cozimentos preliminares e cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas.

3.5.1. Cozimentos preliminares

Esses cozimentos foram realizados para estudar as características da deslignificação kraft das espécies, em relação ao álcali ativo, e para estabelecer o álcali ativo necessário para a produção de polpas com número kappa $18,0 \pm 1,0$. Foram utilizados os mesmos níveis de álcali ativo para as três espécies (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18%, como Na_2O), à exceção do nível de 18% que não foi utilizado para o E. grandis, por causa de sua maior facilidade de deslignificação. Os outros parâmetros de cozimento, mantidos constantes em todos esses cozimentos, foram os seguintes:

. sulfidez	25%
. temperatura	170 °C
. tempo até temperatura	90 minutos
. tempo à temperatura	50 minutos
. relação licor/madeira	4/1.

Os cozimentos foram realizados com 2 repetições, num total de 52 cozimentos, tendo sido determinados o rendimento, total e depurado, o teor de rejeitos e o número kappa.

3.5.2. Cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas

Os resultados dos cozimentos preliminares, após o estabelecimento de equações de regressão, foram utilizados na determinação do álcali ativo necessário para a produção de polpas das três espécies com número kappa $18,0 \pm 1,0$. Utilizando os álcalis ativos calculados matematicamente, foram realizados 2 cozimentos para cada espécie, tendo sido obtidas polpas com número kappa $18,0 \pm 1,0$, que foram sempre

gadas na confecção de folhas para a determinação das propriedades físico-mecânicas. Nesses cozimentos foram utilizados os mesmos valores dos parâmetros mantidos constantes nos cozimentos preliminares. Foram retiradas amostras dos licores residuais desses cozimentos para análise posterior, conforme metodologia especificada no Apêndice B.

Todos os cozimentos foram realizados em digestor rotativo de aço inoxidável, com capacidade para 20 litros, aquecido eletricamente e dotado de 4 reatores individuais, com capacidade de 2 litros cada um, possibilitando a realização de 4 cozimentos simultaneamente. No cozimento foi utilizado o equivalente a 300 g de cavacos absolutamente secos. A seqüência de realização dos cozimento foi previamente estabelecida por meio de sorteio dos reatores.

Após os cozimentos, os cavacos foram desfibrados em moinho de discos Bauer, com abertura entre discos de 0,32 mm. As polpas obtidas foram depuradas em depurador laboratorial Voith, dotado de tela com fendas de 0,2 mm de abertura. O rendimento depurado e o teor de rejeitos foram calculados experimentalmente e o rendimento total foi calculado pela soma dos dois primeiros. O refinamento das polpas foi realizado em moinho Jockro, a 6% de consistência, em 30, 60, 90 e 120 minutos. As folhas de celulose foram confeccionadas em formador Köthen-Rapid, com gramaturas de $62 \pm 3 \text{ g/m}^2$.

Os números kappa das polpas e as propriedades físicas-mecânicas das folhas de celulose foram determinados segundo as normas da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (3).

3.6. Análise estatística

Os resultados dos cozimentos preliminares e as propriedades físico-mecânicas das folhas de celulose foram analisados estatisticamente, por meio de análise de regressão, tendo sido estabelecidas equações matemáticas, considerando a significância dos coeficientes individuais.

viduais da regressão ($\alpha = 0,05$), a redução do quadrado médio do erro, o coeficiente de determinação (R^2) e a análise dos resíduos.

Foi, também, realizada a análise da variância dos resultados das propriedades físico-mecânicas das polpas de número kappa $18 \pm 1,0$ provenientes de 2 cozimentos por espécie. O desenho experimental dessa análise foi inteiramente casualizado, com 3 espécies, 2 repetições, 5 tempos de refino e 10 medições por cozimento, por espécie, à exceção da resistência ao rasgo, que teve 5 medições.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Descrição anatômica da madeira de *Didymopanax morototoni* (Aubl.) DCne & Planch

4.1.1. Características gerais

Madeira de coloração variável, entre cinza (2,5Y 8/2) e creme-clara (2,5Y 8/4), de acordo com a classificação de MUNSELL (20) para tecidos de plantas, com cerne e alburno geralmente indistintos; superfície lisa e lustrosa, grã direita, textura média e uniforme, sem odor ou sabor característicos, relativamente leve, especialmente quando seca, moderadamente pesada quando recém-cortada, apresenta facilidade para trabalhar e bom acabamento.

4.1.2. Descrição macroscópica

Anéis de crescimento: indistintos ou ligeiramente demarcados pelo adensamento do tecido fibroso.

Vasos: poros perceptíveis a olho nu ou visíveis somente com lente, solitários, geminados e, menos frequentemente, múltiplos com três poros, pequenos, pouco numerosos, em distribuição difusa uniforme; geralmente vazios; linhas vasculares geralmente longas, finas e retilíneas, pouco diferenciadas e normalmente vazias.

Parênquima axial: indistinto.

Parênquima radial: raios visíveis a olho nu, numerosos, relativamente largos e afastados, baixos, não estratificados; canais intercelulares geralmente presentes e visíveis somente com lente.

4.1.3. Descrição microscópica

Vasos: poros solitários (47%), geminados (35%) e múltiplos, com três poros (18%), de tamanho médio (aproximadamente 116 μm de diâmetro); poucos (em média, 5 poros/ mm^2), distribuídos em porosidade difusa uniforme; seção transversal oval nos poros solitários; tilos ausentes; elementos vasculares longos (680 μm de comprimento médio), com apêndice curto presente em uma e/ou nas duas extremidades, representando apenas cerca de 1/6 (16,8%) do comprimento total do elemento vascular; placa de perfuração predominantemente simples, raramente múltipla, com poucas barras irregulares; pontuado intervacular em disposição alterna, com pontuações grandes (em média, 17 μm de diâmetro), aureoladas, de formato poligonal e apresentando abertura inclusa horizontal. Pontuado parênquimo-vascular e rádio-vascular semelhantes ao intervacular (Figura 1 e 2).

Parênquima axial: paratraqueal escasso, com células retangulares de maior dimensão no sentido vertical e dimensões médias de 97 μm de altura e 12 μm de diâmetro.

Parênquima radial: predominam os multisseriados, de 3 a 4 células de largura, presentes também bisseriados e, menos freqüentemente, unisseriados; estreitos, com 56 μm de largura média, variando desde 2 células, extremamente baixos (cerca de 0,01 mm), até 26 células de altura, muito baixos (cerca de 0,7 mm); raios heterogêneos, apresentando-se, em sua grande maioria, multisseriados, com células procumbentes e, nas extremidades, uma célula ereta, às vezes duas, ou, menos freqüentemente, quadrada; geralmente, são do tipo heterogêneo II A e II B, de KRIBS (13), com alguma tendência ao homogêneo tipo I; poucas,

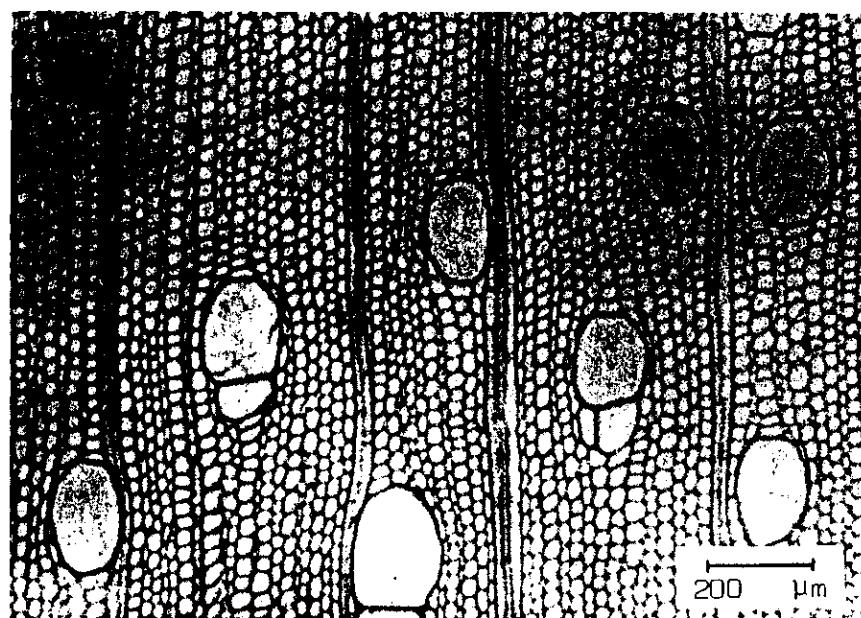


FIGURA 1 - Corte transversal da madeira de morototó, evidenciando po
ros, geralmente solitários, em distribuição difusa uniforme.

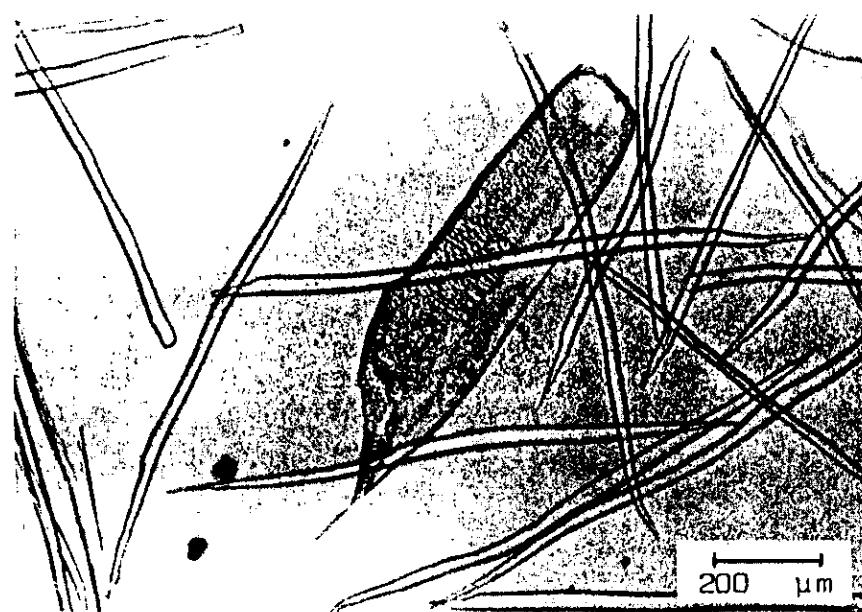


FIGURA 2 - Fibras e elemento vascular da madeira de morototó, evidenc
ciando a perfuração simples, apresentando apêndice e pon
tuado alterno.

em média, 2,5 raios por mm. Canais intercelulares ocasionais no interior dos raios multisseriados (Figuras 3 e 4).

Fibras: de parede delgada (em média, 5,37 μm de espessura), muito curtas (1,20 mm de comprimento médio). Fibras libriformes normais e ocasionalmente septadas.

4.2. Descrição anatômica da madeira de *Cedrelinga catenaeformis*

Ducke

4.2.1. Características gerais

Madeira de coloração vermelho-róseo-clara, (SYR 7/4) e (SYR 7/6), com linhas vasculares contrastadas (2,5YR 5/6) e alburno mais calro (7,5YR 8/2) (20); superfície lisa e lustrosa, grã direita, textura grossa e uniforme, odor desagradável, quando o teor de umidade é alto, sabor não caracterizado, moderadamente pesada, apresenta facilidade para trabalhar e bom acabamento.

4.2.2. Descrição macroscópica

Anéis de crescimento: visíveis a olho nu, demarcados pelo adensamento do tecido fibroso.

Vasos: poros visíveis a olho nu, predominantemente solitários, raramente geminados ou múltiplos, freqüentemente em agrupamentos de dois e três poros, geralmente grandes, muito poucos, em distribuição difusa; vazios ou preenchidos por substância avermelhada; placa de perfuração simples; linhas vasculares largas e longas, regulares, espaçadas e freqüentemente mais escuras, avermelhadas.

Parênquima axial: só visível com lente, freqüentemente vasicêntrico ou aliforme, com aletas curtas.

Parênquima radial: raios visíveis a olho nu nos cortes trans-



FIGURA 3 - Corte tangencial da madeira de morototó, evidenciando raios multisseriados, elementos vasculares e tecido parenquimatoso.

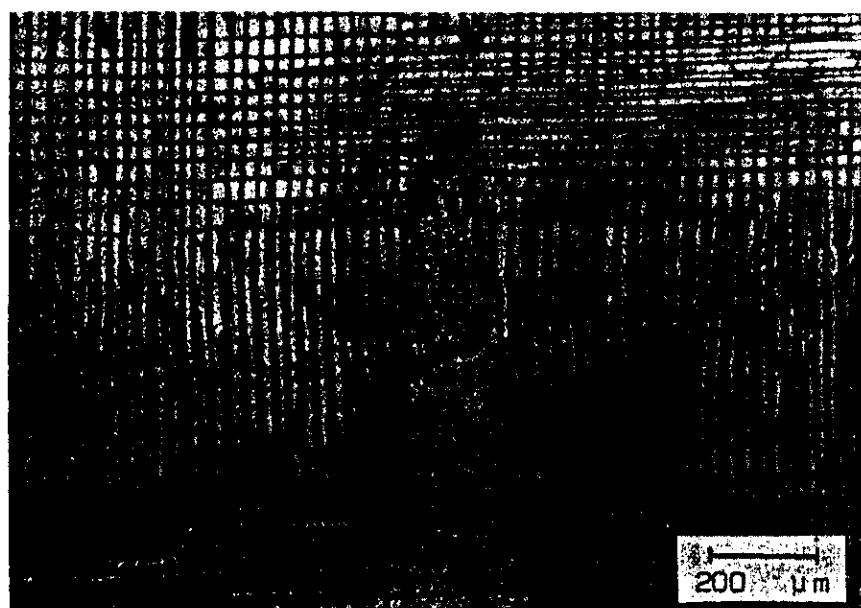


FIGURA 4 - Corte radial da madeira de morototó, evidenciando raios heterogêneos e pontuações rádio-vasculares.

versal e radial, com lente no tangencial, muito finos e próximos, baixos, não estratificados.

4.2.3. Descrição microscópica

Vasos: poros solitários, em sua maioria (87%), raramente múltiplos (10%) ou geminados (3%), frequentemente em agrupamento de dois e três poros, grandes (aproximadamente $213 \mu\text{m}$ de diâmetro); muito poucos (em média, 2 poros/ mm^2), distribuídos em porosidade difusa; seção transversal circular nos poros solitários e oval nos geminados e múltiplos; elementos vasculares curtos ($460 \mu\text{m}$ de comprimento médio), com apêndice curto presente em uma e/ou nas duas extremidades, representando cerca de 1/8 (12,5%) do comprimento total do elemento vascular; placa de perfuração simples; pontuado intervacular em disposição alterna, com pontuações pequenas (em média, $7 \mu\text{m}$ de diâmetro), guarnecidas, ovais ou arredondadas, com abertura inclusa horizontal. Pontuado parênquimo-vascular e rádio-vascular semelhantes ao intervacular (Figuras 5 e 6).

Parênquima axial: paratraqueal vasicêntrico ou aliforme com aletas curtas e, ainda, apotraqueal difuso, geralmente com uma fileira sinuosa de células, que são retangulares, de maior dimensão no sentido vertical, e apresentam dimensões medias de $39 \mu\text{m}$ de altura e $27 \mu\text{m}$ de diâmetro.

Parênquima radial: predominantemente unisseriado, muito raramente com duas células, um a dois pares; extremamente finos, com $11,47 \mu\text{m}$ de largura média, variando desde uma célula (cerca de $12,85 \mu\text{m}$) até 24 células (cerca de $296,40 \mu\text{m}$) de altura; homogêneos, formado por células horizontais; geralmente são do tipo homogêneo III, de KRIES (13); pouco numerosos, em média, 6,2 raios por mm (Figuras 7 e 8).

Fibras: de parede muito delgada (em média, $4,45 \mu\text{m}$ de espessura), muito curtas ($1,34 \text{ mm}$ de comprimento médio). Fibras libriformes normais em distribuição uniforme e em adensamentos, demarcando as ca-

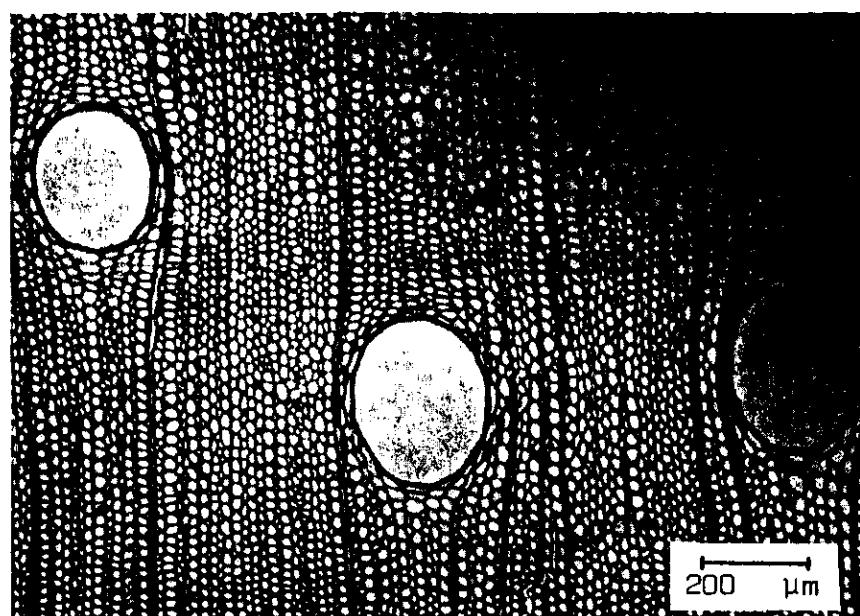


FIGURA 5 - Corte transversal da madeira de cedrorana, evidenciando po
ros solitários em distribuição difusa uniforme.

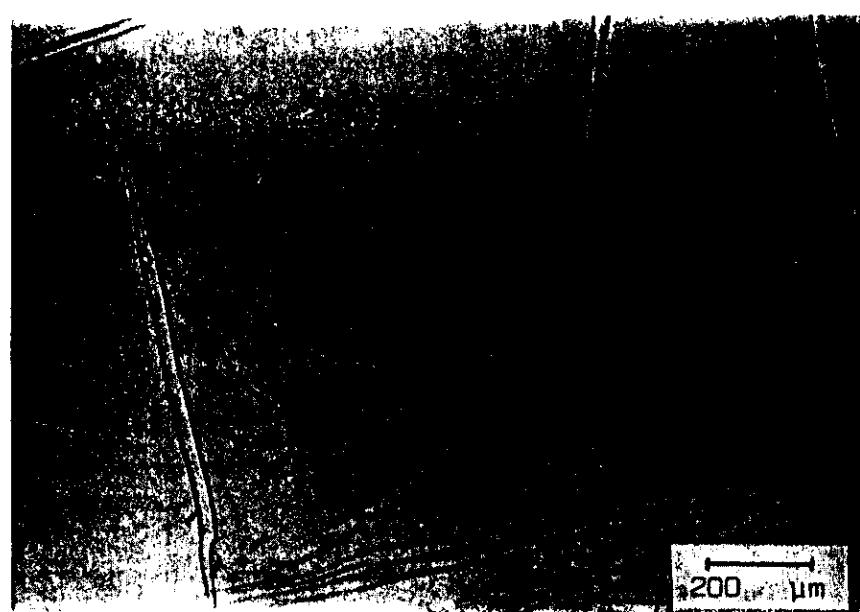


FIGURA 6 - Fibras, células de parênquima e elemento vascular da madei
ra de cedrorana, evidenciando perfuração simples e pontua
do alterno.



FIGURA 7 - Corte tangencial da madeira de cedrorana, evidenciando elementos vasculares com inclusões, parênquima paratraqueal e predomínio dos raios unisseriados.

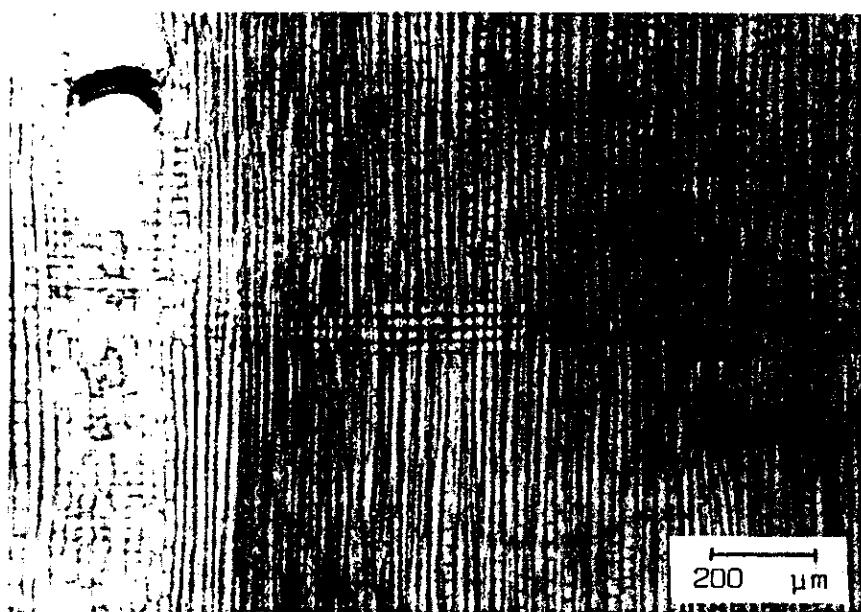


FIGURA 8 - Corte radial da madeira de cedrorana, evidenciando raios homogêneos e parênquimas, paratraqueal e apotraqueal.

madas de crescimento.

Inclusões orgânicas: substância marrom-avermelhada, muito abundante nas células radiais e vasculares, ocasionalmente, preenchendo os vasos.

4.3. Dimensões das fibras e dos elementos vasculares

As dimensões das fibras das madeiras e suas principais inter-relações são mostradas no Quadro 1. Observa-se que os comprimentos médios das fibras são típicos de folhosas, ou seja, em torno de 1 mm. A cedrorana e o E. grandis foram as espécies que apresentaram o maior e o menor comprimento médio das fibras, 1,34 mm e 0,91 mm, respectivamente. O morototó apresentou comprimento médio de 1,20 mm. Os maiores valores médios de largura das fibras e diâmetro dos lúmens foram apresentados pela cedrorana (31,55 μm e 22,64 μm) e pelo morototó (31,07 μm e 20,33 μm). O eucalipto e a cedrorana apresentaram fibras com espessuras de parede semelhantes e o morototó foi a espécie com a maior espessura média de parede.

Os resultados das mensurações micrométricas das fibras estão representados em histogramas da distribuição de freqüências relativas, por classe de comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular, nas Figuras 9 a 20.

O coeficiente de flexibilidade possibilita avaliar a capacidade de flexão da fibra e o potencial de ligação inter-fibras. Geralmente, aceita-se que o coeficiente de flexibilidade das fibras tenha influência direta sobre a resistência à tração e ao arrebentamento (27). Os maiores e, consequentemente, os melhores valores de coeficiente de flexibilidade foram apresentados pelas espécies amazônicas. O índice de Runkel apresenta uma relação inversa com resistência à tração e ao arrebentamento (23), tendo a cedrorana apresentado o melhor valor. Espécies que apresentam altos valores de fração parede têm fibras rígidas, pouco flexíveis e com pequeno potencial de liga-

QUADRO 1 - Dimensões e inter-relações das fibras das madeiras de morotó, cedrorana e E. grandis

Dimensões	Morotó	Cedrorana	<u>E. grandis</u>
Comprimento, mm			
. médio	1,20	1,34	0,91
. mínimo	0,84	0,88	0,59
. máximo	1,56	1,97	1,21
. desvio-padrão	0,15	0,17	0,11
. coeficiente de variação, %	12,50	12,68	12,09
Largura, µm			
. média	31,07	31,55	18,16
. mínima	19,80	19,80	10,80
. máxima	45,00	54,00	25,20
. desvio-padrão	5,14	5,89	2,51
. coeficiente de variação, %	16,54	18,67	13,82
Lúmen, µm			
. médio	20,33	22,64	9,07
. mínimo	7,20	9,00	3,60
. máximo	37,80	46,80	16,20
. desvio-padrão	5,10	6,35	2,41
. coeficiente de variação, %	25,09	28,05	26,57
Espessura da parede, µm			
. média	5,37	4,45	4,54
. mínima	1,80	1,80	2,70
. máxima	9,00	9,00	7,20
. desvio-padrão	1,37	1,19	0,91
. coeficiente de variação, %	26,51	26,74	20,04
Coeficiente de flexibilidade, %	65	65	50
Índice de enfeltramento	39	42	50
Fração parede, %	34	28	50
Índice de Runkel	0,53	0,39	1,00

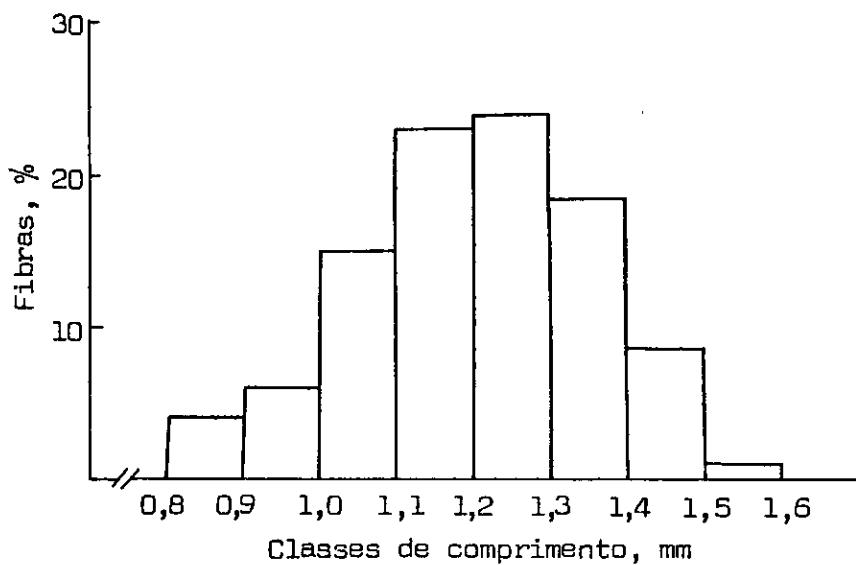


FIGURA 9 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, das fibras de morotóto.

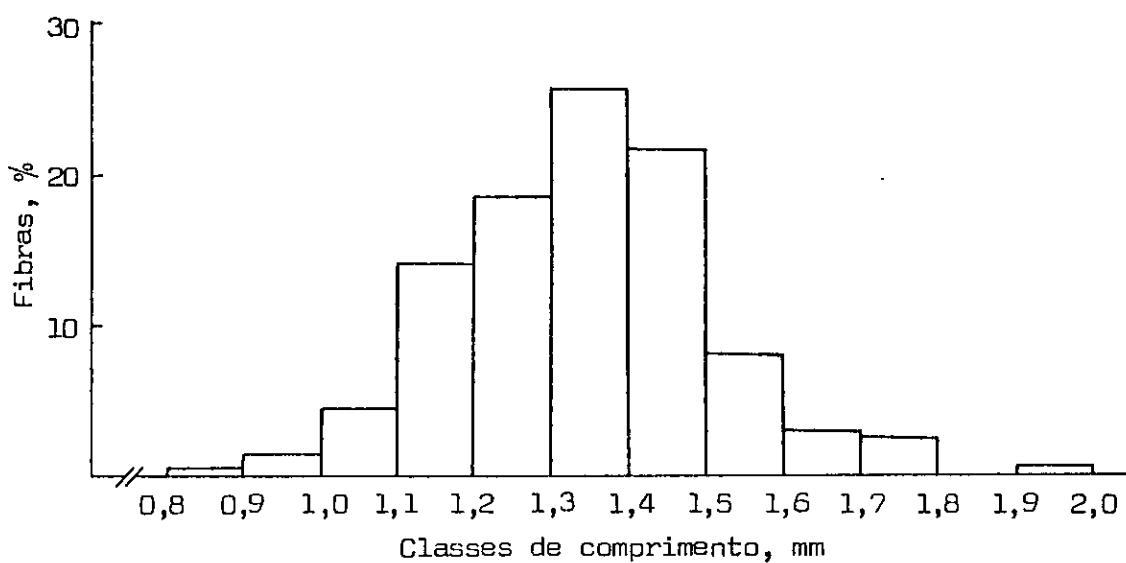


FIGURA 10 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, das fibras de cedrorana.

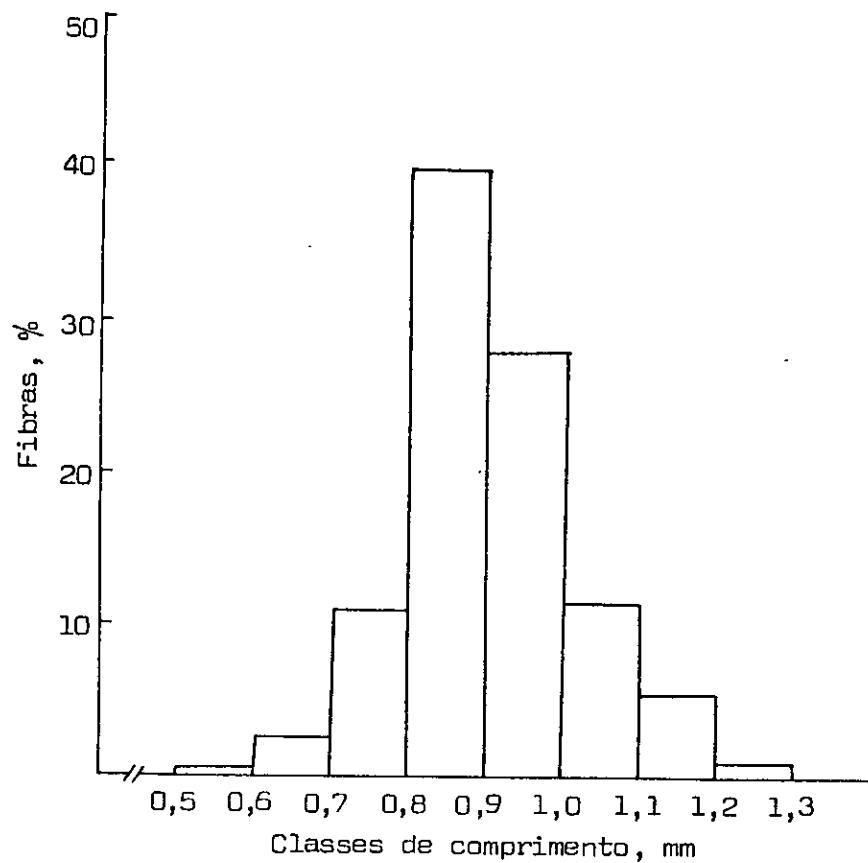


FIGURA 11 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, das fibras de *E. grandis*.

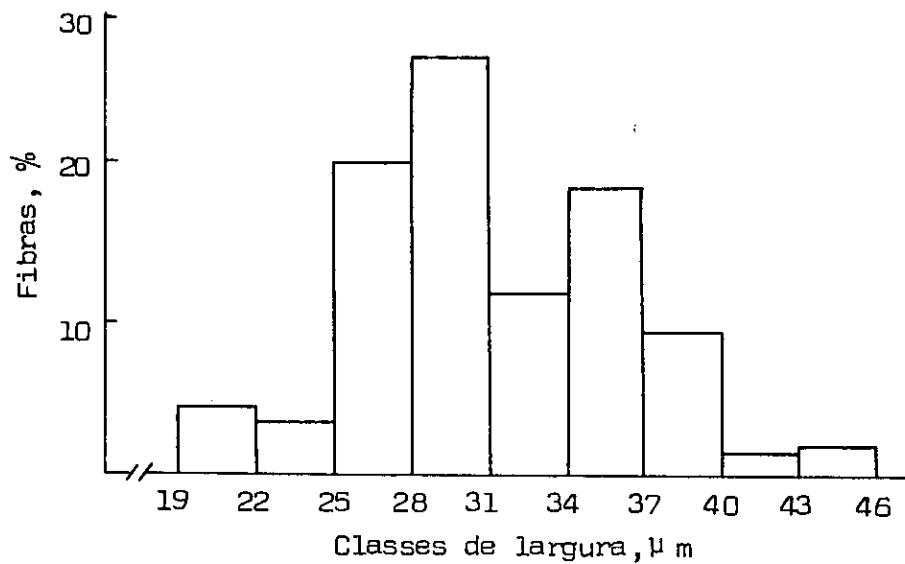


FIGURA 12 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, das fibras de morototó.

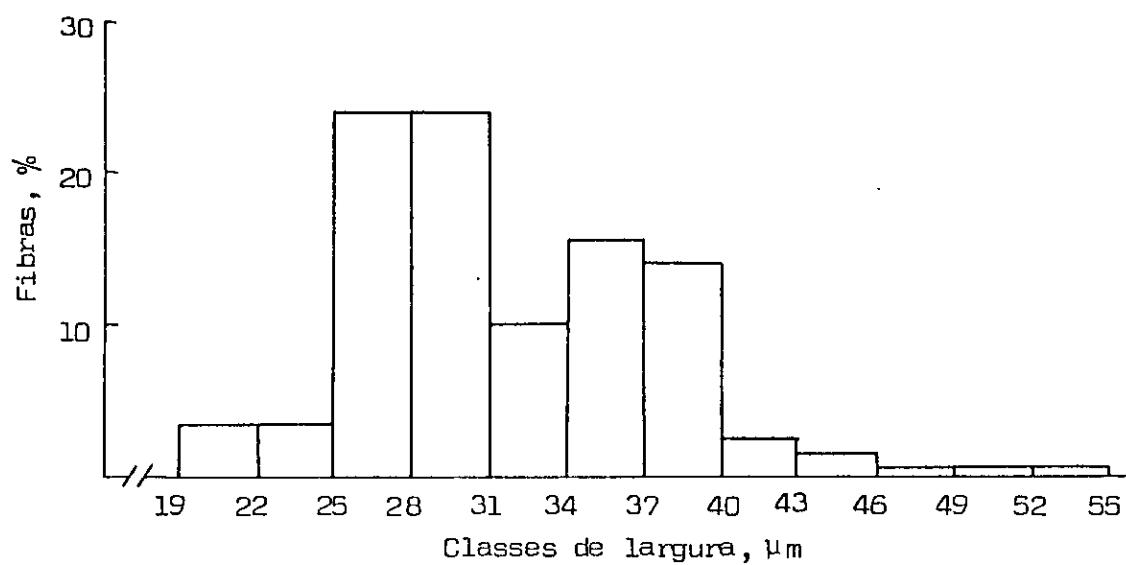


FIGURA 13 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, das fibras de cedrorana.

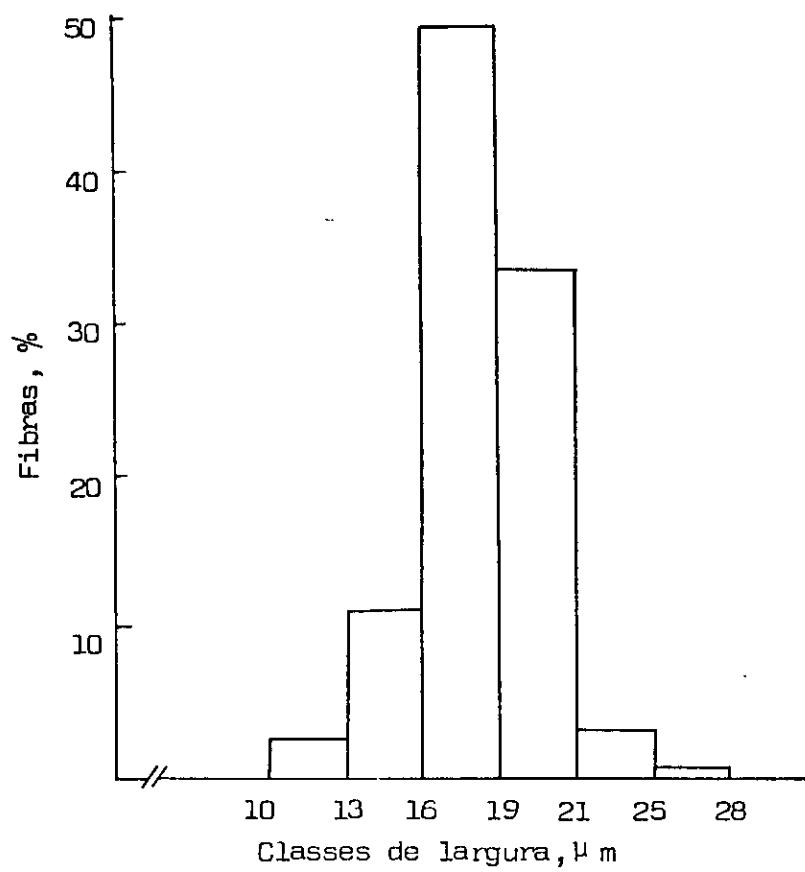


FIGURA 14 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, das fibras de *E. grandis*.

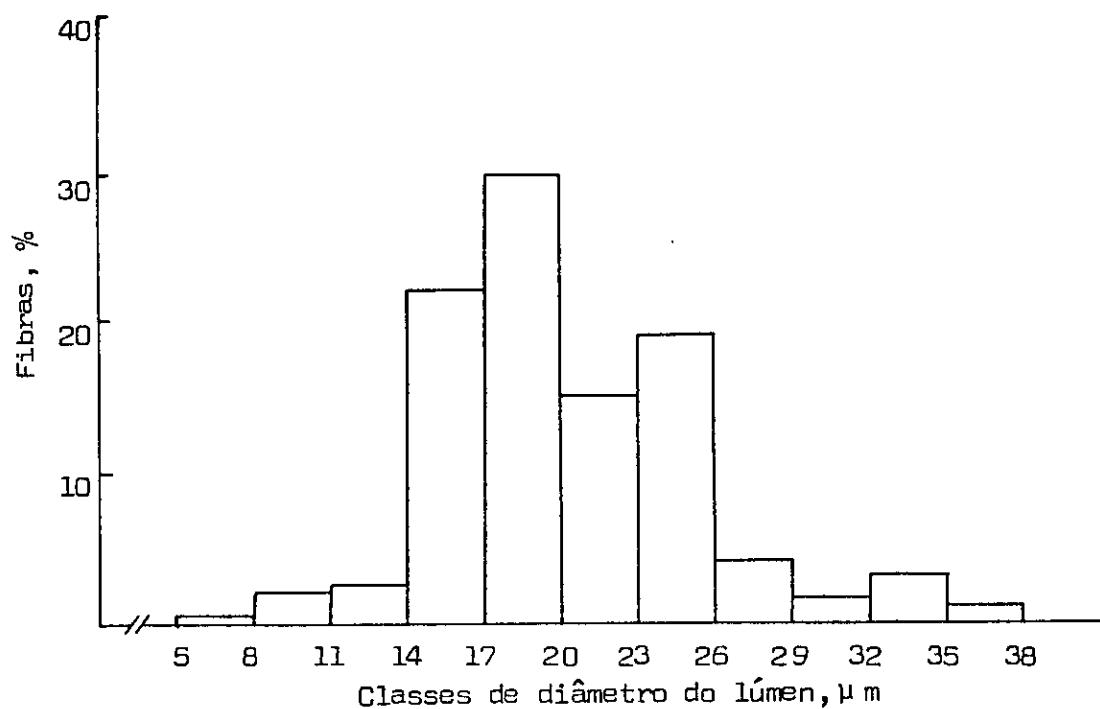


FIGURA 15 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de diâmetro do lúmen, das fibras de morototó.

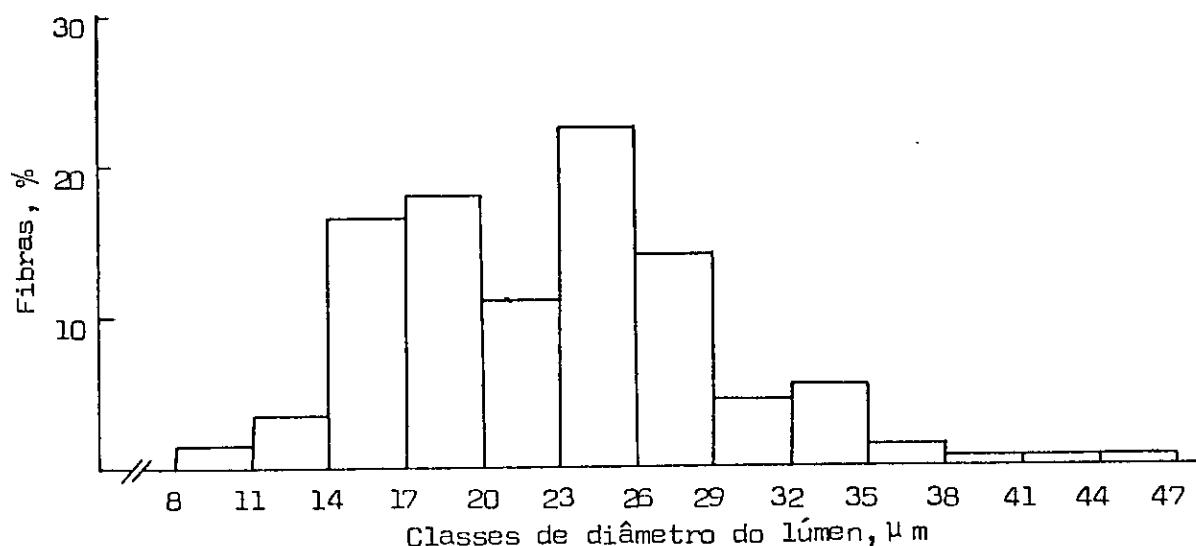


FIGURA 16 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de diâmetro do lúmen, das fibras de cedrorana.

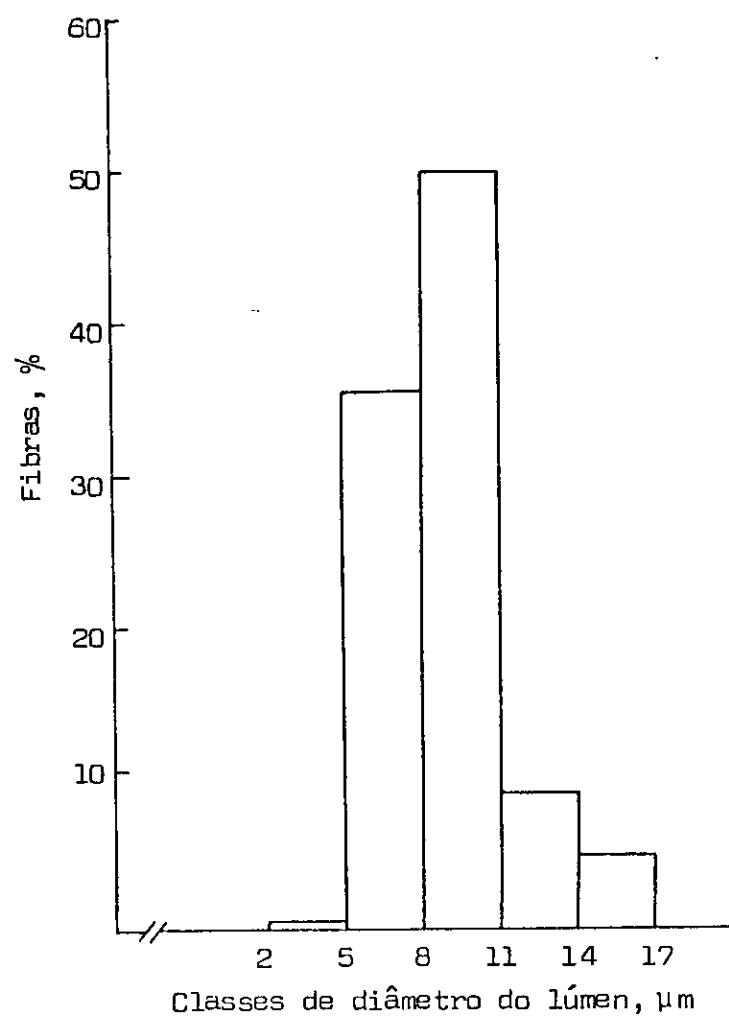


FIGURA 17 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de diâmetro do lúmen, das fibras de E. grandis.

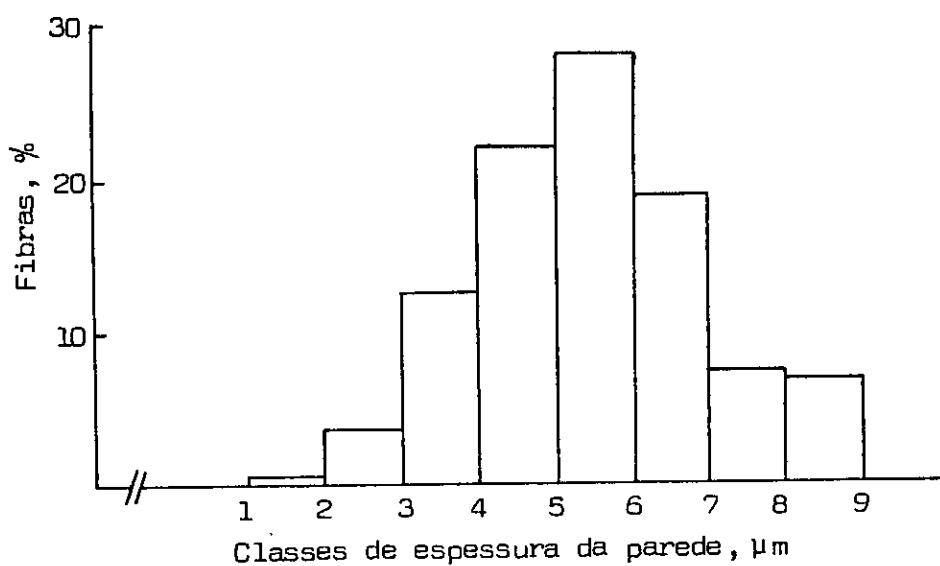


FIGURA 18 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de espessura da parede, das fibras de morototó.

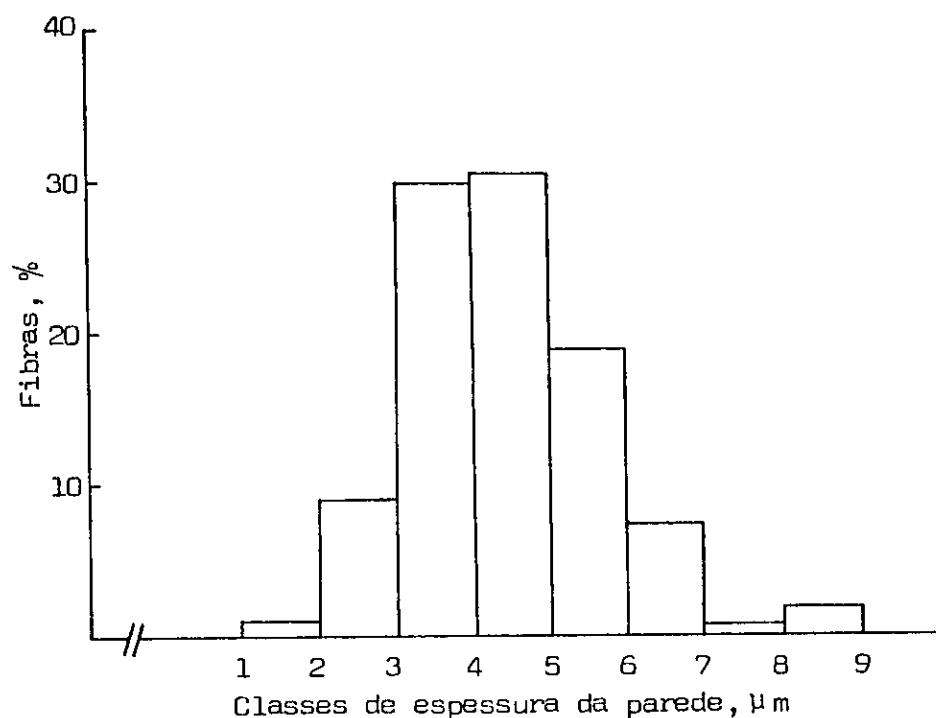


FIGURA 19 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de espessura da parede, das fibras de cedrorana.

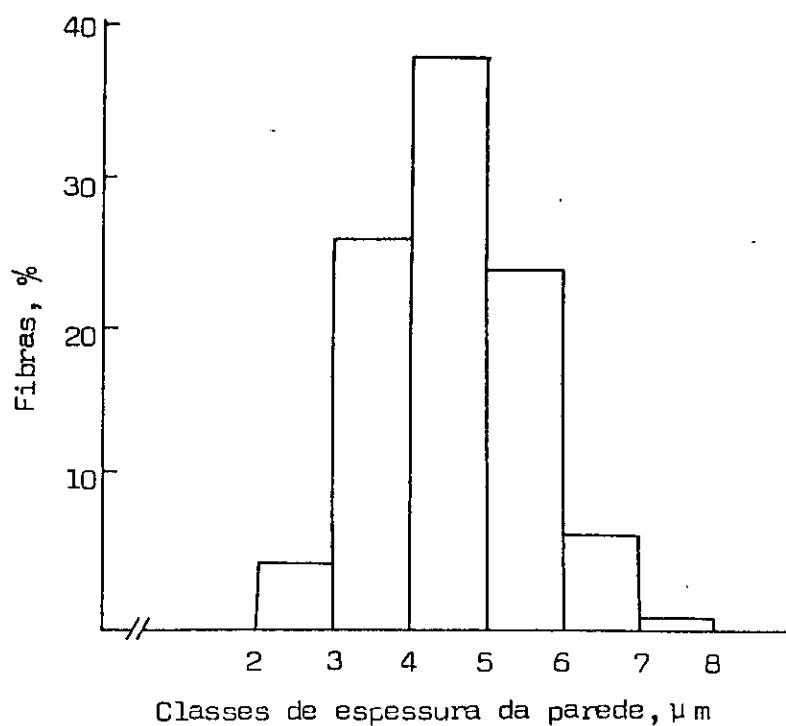


FIGURA 20 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de espessura da parede, das fibras de *E. grandis*.

ção. O E. grandis e a cedrorana forem as espécies que apresentaram o maior e menor valor de fração parede, respectivamente. Segundo ARTUZ-SIEGEL et alii (2), a resistência ao rasgo aumenta conforme o índice de enfeltramento. Consequentemente, no que diz respeito a essa característica, as espécies estudadas poderiam ser classificadas na seguinte ordem decrescente: E. grandis, cedrorana e morototó.

As madeiras de morototó e cedrorana apresentaram os maiores comprimentos de elementos vasculares e os diâmetros desses elementos apresentaram valores semelhantes, para as três espécies (Quadro 2). Nas Figuras 21 a 26 são mostrados os histogramas da distribuição de freqüências relativas, por classe de comprimento e largura, dos elementos vasculares das três madeiras.

4.4. Análises químicas e densidades básicas das madeiras

No Quadro 3 estão os resultados médios das análises químicas e das determinações das densidades básicas das madeiras de morototó, cedrorana e E. grandis.

4.4.1. Solubilidade em água fria

Os extractivos solúveis em água fria incluem sais orgânicos, açúcares, gomas, substâncias pécticas e parte de taninos e pigmentos da madeira. De acordo com os resultados encontrados (Quadro 3), o morototó foi a espécie que apresentou a maior solubilidade em água fria, ao contrário do E. grandis, cujo valor foi o menor.

4.4.2. Solubilidade em água quente

Quando a madeira é tratada com água quente, além da remoção das substâncias solúveis em água fria, ocorre, também, hidrólise de parte dos carboidratos de baixo peso molecular, especialmente hemice-

QUADRO 2 - Dimensões dos elementos vasculares das madeiras de morotó, cedrorana e E. grandis

Dimensões	Morotó	Cedrorana	<u>E. grandis</u>
<hr/>			
Comprimento, mm			
. médio	0,68	0,46	0,41
. mínimo	0,23	0,16	0,17
. máximo	1,13	0,76	0,69
. desvio-padrão	0,11	0,10	0,08
. coeficiente de variação, %	16,17	21,74	19,51
<hr/>			
Largura, mm			
. média	0,16	0,18	0,17
. mínima	0,06	0,07	0,09
. máxima	0,28	0,37	0,30
. desvio-padrão	0,04	0,08	0,03
. coeficiente de variação, %	25,00	32,10	17,65

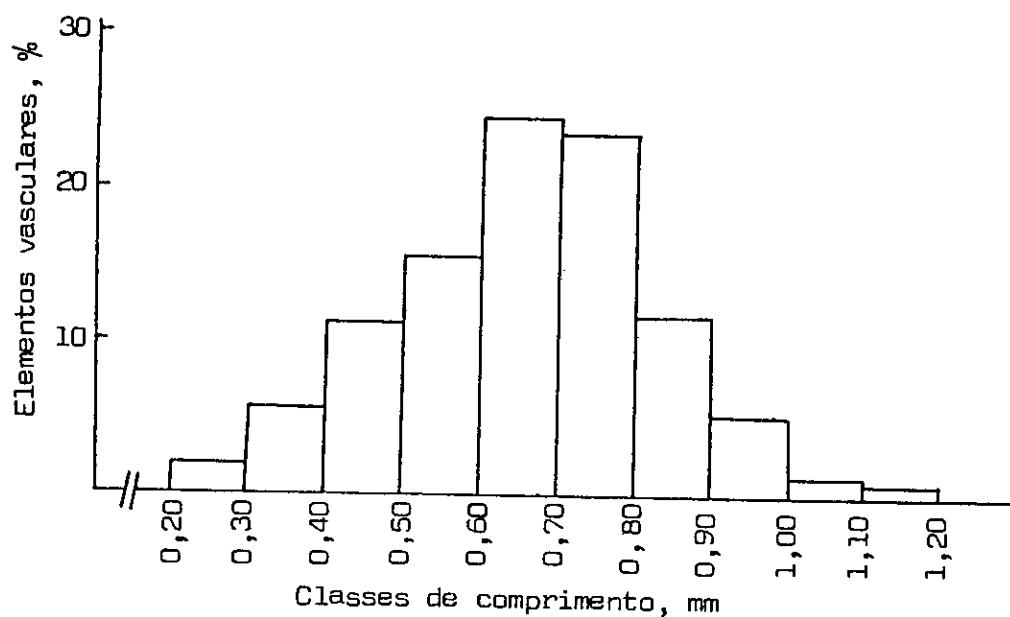


FIGURA 21 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, dos elementos vasculares de morotató.

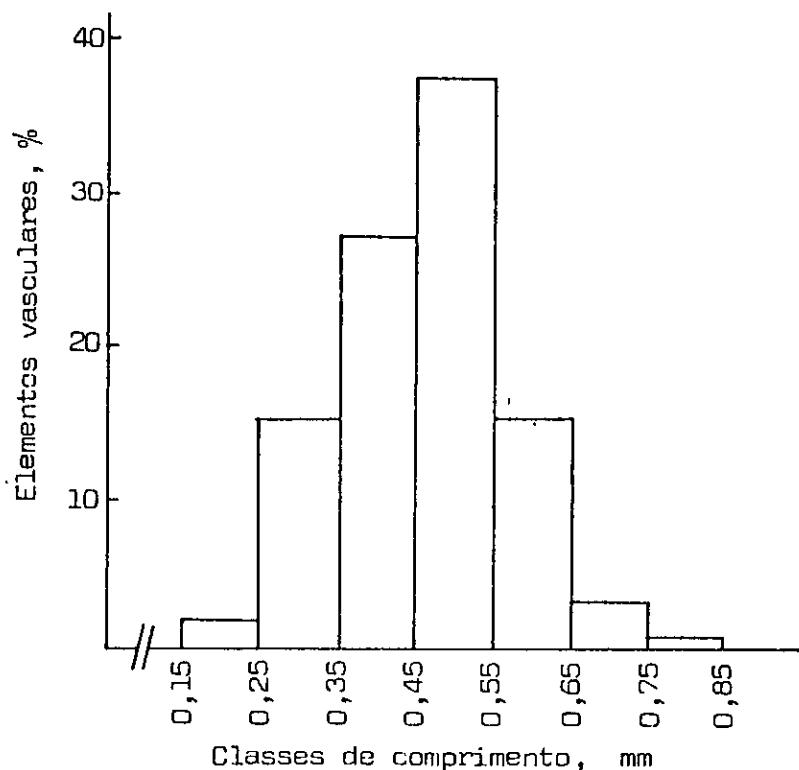


FIGURA 22 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, dos elementos vasculares de cedrorana.

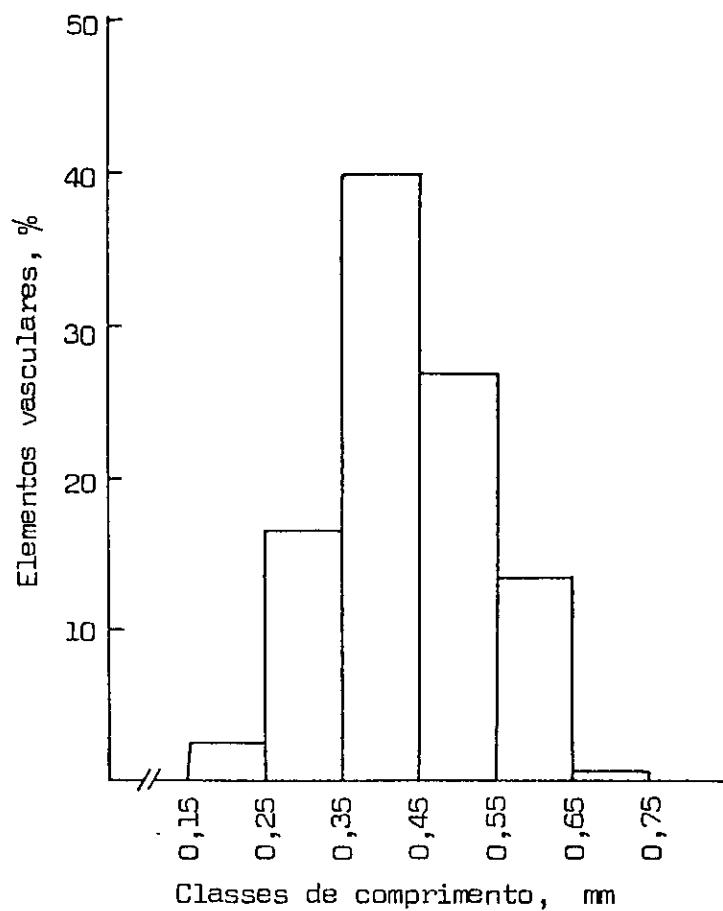


FIGURA 23 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de comprimento, dos elementos vasculares de E. grandis.

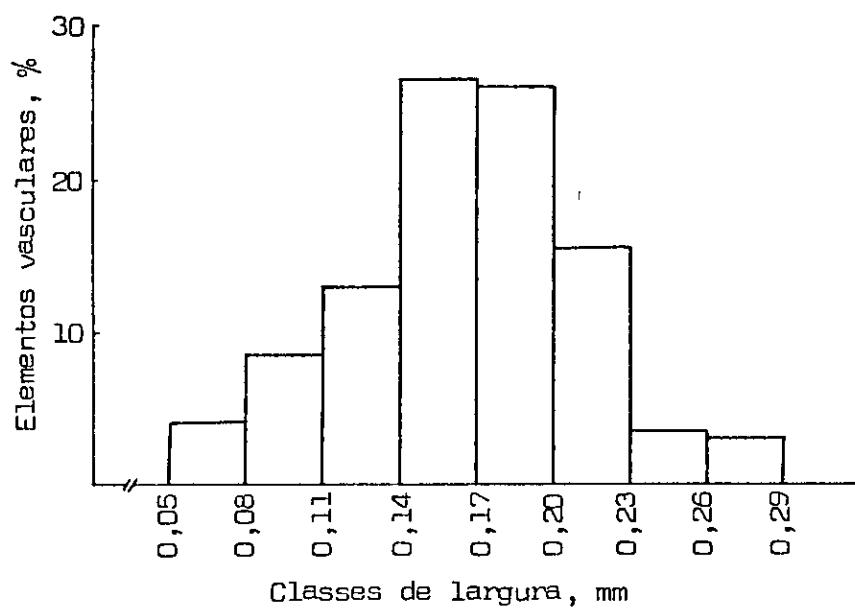


FIGURA 24 -- Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, dos elementos vasculares de morototó.

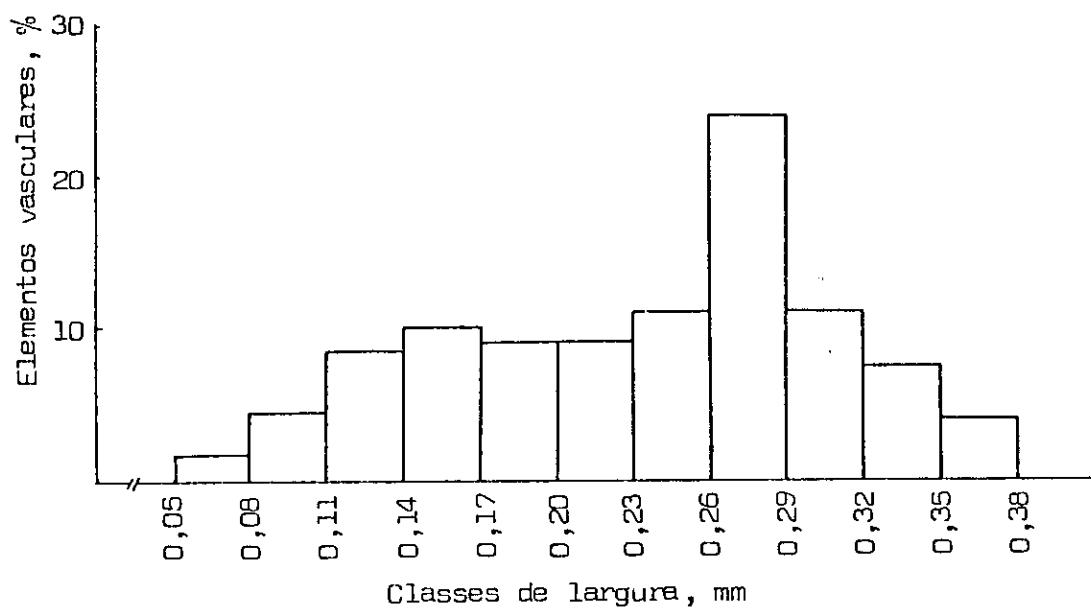


FIGURA 25 - Distribuição de freqüência relativa, por classe de largura, dos elementos vasculares de cedrorana.

QUADRO 3 - Constituição química e densidade básica das madeiras de morotó, cedrorana e E. grandis

Análises	Morotó	Cedrorana	<u>E. grandis</u>
<hr/>			
Solubilidade em:			
. água fria, %	3,6	2,2	1,9
. água quente, %	5,4	4,6	3,1
. álcool/benzeno, %	3,3	3,5	3,3
. NaOH 1%	18,4	15,2	13,4
<hr/>			
Teor de:			
. holocelulose, %	73,0	75,6	78,2
. pentosanas, %	23,9	20,9	19,6
. lignina, %	27,1	24,1	21,5
. cinzas, %	2,80	0,23	0,15
. fósforo, %	0,009	0,007	0,004
. potássio, %	0,010	0,010	0,007
. cálcio, %	0,022	0,086	0,034
. magnésio, %	0,068	0,081	0,084
. zinco, %	0,003	0,012	0,002
. silica, %	2,190	0,006	0,001
Densidade básica, g/cm ³	0,415	0,435	0,508

luloses. As madeiras da região Amazônica apresentaram maior solubilidade em água quente que o E. grandis. O morototó apresentou o maior teor de extractivos solúveis em água quente.

4.4.3. Solubilidade em álcool/benzeno

A fração dos extractivos das madeiras solúvel em álcool/benzeno é representada por resinas, óleos, ceras, graxas e parte dos compostos solúveis em água. As três madeiras apresentaram teores semelhantes de extractivos solúveis em álcool/benzeno.

4.4.4. Solubilidade em NaOH 1%

Os materiais solúveis em solução aquosa de NaOH 1%, a quente, inclui, além de parte das substâncias extraíveis pela água e pelo álcool/benzeno, os carboidratos de baixo peso molecular, principalmente hemiceluloses e celuloses de baixo grau de polimerização. Das três madeiras analisadas, o morototó e o E. grandis foram as que apresentaram a maior (18,4%) e a menor (13,4%) solubilidade em NaOH 1%.

4.4.5. Holoceluloses

A holocelulose é o material fibroso que compreende a celulose e as hemiceluloses da madeira. No Quadro 3 observa-se que o morototó apresentou o teor mais baixo de holocelulose (73%), ao contrário do E. grandis, cujo valor foi mais elevado (78%). Essa maior percentagem de holocelulose do E. grandis, associada ao seu menor teor de hemiceluloses (pentosanas), deverá contribuir para um maior rendimento na polpação. Por sua vez, o morototó, que apresentou o menor teor de holocelulose e o maior teor de hemiceluloses (pentosanas), deverá apresentar o menor rendimento em polpa, uma vez que parte das hemiceluloses é solúvel em solução aquosa alcalina.

4.4.6. Pentosanas

Conforme pode ser observado no Quadro 3, as madeiras amazônicas apresentaram teores de pentosanas mais elevados que os do E. grandis. O morototó foi a espécie que apresentou o maior teor (23,9%), o que poderá ser uma característica vantajosa, facilitando a ação do refino da polpa e contribuindo para o desenvolvimento de resistências.

4.4.7. Lignina

O teor de lignina mais elevado foi apresentado pelo morototó, ao passo que a madeira de referência, o E. grandis, apresentou o menor teor, 27,1 e 21,5%, respectivamente (Quadro 3). Os maiores teores de lignina das madeiras de morototó e cedrorana deverão exigir níveis mais elevados de álcalis ativos para um mesmo grau de deslignificação, quando comparadas com o E. grandis.

4.4.8. Cinzas

O teor de elementos minerais na madeira é usualmente expresso como teor de cinzas. Os principais elementos minerais encontrados na madeira são o cálcio, o potássio e o magnésio, na forma de carbonatos, fosfatos, silicatos, sulfatos e, às vezes, oxalatos (6). A variedade de outros elementos minerais na madeira é alta, mas em quantidades desprezíveis.

Das três espécies analisadas, o morototó apresentou o maior teor de cinzas (2,8%) e o maior teor de sílica (cerca de 7% do teor de cinzas). Esse elevado teor de sílica poderá causar problemas na recuperação dos reagentes químicos da polpação, quando grande parte da sílica deverá ser dissolvida. A sílica, em combinação com os íons do cálcio, poderá depositar-se nas paredes internas dos tubos das eva-

poradores, formando uma crosta que alterará seriamente a transferência de calor.

Com relação ao fósforo, o morototó foi a espécie que apresentou o maior teor, ao contrário do E. grandis. Quanto ao potássio, as espécies amazônicas apresentaram valores iguais e superiores ao do E. grandis. O maior e o menor teor de cálcio foram determinados na cedrorana e no morototó, respectivamente. A maior percentagem de magnésio foi apresentada pelo E. grandis. A cedrorana apresentou o maior teor de zinco, enquanto o morototó e o E. grandis apresentaram valores similares.

4.4.9. Densidade básica

Os resultados das determinações das densidades básicas das três madeiras encontram-se no Quadro 3. As madeiras da Amazônia apresentaram as densidades mais baixas, mas dentro dos limites desejáveis para a produção de polpa celulósica ($0,40$ a $0,60 \text{ g/cm}^3$). Comparativamente, as menores densidades das madeiras amazônicas poderão constituir fator econômico negativo, uma vez que menores quantidades de madeira, por peso, poderão ser utilizadas por carga de digestor, resultando em menor produção de polpa por unidade de tempo.

4.5. Deslignificação das madeiras: cozimentos preliminares

Para análise das características de deslignificação das madeiras, foram realizados cozimentos com vários álcalis ativos e determinados o rendimento, total e depurado, o teor de rejeitos e o número kappa.

As médias dos resultados dessas determinações encontram-se no Quadro 4.

As equações matemáticas estabelecidas para essas características, em relação ao álcali ativo, acham-se no Quadro 5.

QUADRO 4 - Influência do álcali ativo no rendimento, total e depurado, no teor de rejeitos e no número kappa das polpas de morotó, Cedrorana e E. grandis

Espécies	Álcali ativo %	Rendimento, % total	Rendimento, % depurado	Teor de rejeitos %	Número kappa
Morototó		56,5	29,1	27,4	88,4
Cedrorana	10	59,2	38,0	21,1	69,9
<u>E. grandis</u>		57,2	52,0	5,2	34,4
Morototó		53,3	35,4	17,9	62,2
Cedrorana	11	56,1	44,7	11,4	52,7
<u>E. grandis</u>		56,7	52,8	3,8	28,5
Morototó		50,9	41,5	9,4	43,9
Cedrorana	12	53,8	46,5	7,3	42,2
<u>E. grandis</u>		55,2	52,8	2,4	22,8
Morototó		50,3	42,7	7,6	30,4
Cedrorana	13	51,4	47,6	3,8	27,2
<u>E. grandis</u>		53,7	52,0	1,6	19,2
Morototó		48,4	43,8	4,6	26,1
Cedrorana	14	49,3	47,0	2,3	20,2
<u>E. grandis</u>		52,6	51,2	1,4	17,8
Morototó		46,4	44,4	2,0	21,5
Cedrorana	15	48,2	46,2	2,0	18,7
<u>E. grandis</u>		51,8	50,7	1,1	16,1
Morototó		45,3	43,7	1,5	19,1
Cedrorana	16	47,6	45,9	1,7	17,4
<u>E. grandis</u>		50,6	49,9	0,7	15,2
Morototó		44,1	43,0	1,1	17,5
Cedrorana	17	46,8	45,4	1,4	16,6
<u>E. grandis</u>		49,1	48,8	0,2	13,6
Morototó		42,9	42,0	0,9	16,3
Cedrorana	18	45,5	44,7	0,8	14,9
<u>E. grandis</u>		-	-	-	-

QUADRO 5 - Equações matemáticas do rendimento, total e depurado, do teor de rejeitos e do número kappa, em relação ao álcali ativo, das madeiras de morototó, cedrorana e E. grandis

Equações*	R^2	Sy.x**
<i>Morototó</i>		
RT = 119,593 + 0,0000423A ⁴ - 27,854 ln A	0,97	0,65
RD = - 587,029 - 34,863A + 0,000507A ⁴ + 416,704 ln A	0,98	0,71
R = 207,448 + 34,924A - 0,000466A ⁴ - 445,173 ln A	0,99	0,97
ln K = 11,595 - 3,118 ln A	0,98	0,71
<i>Cedrorana</i>		
RT = 179,120 + 3,162A - 65,798 ln A	0,99	0,48
RD = - 570,936 - 38,594A + 0,000663A ⁴ + 429,389 ln A	0,94	0,70
R = 276,405 + 43,722A - 0,000708A ⁴ - 514,933 ln A	0,99	0,45
ln K = 10,457 - 2,736 ln A	0,94	0,13
<i>E. grandis</i>		
RT = 69,266 - 1,176A	0,97	0,45
RD = 42,260 - 0,0000851A ⁴ + 4,778 ln A	0,88	0,53
R = 68,939 + 2,129A - 36,941 ln A	0,97	0,28
K = 141,285 - 15,398A + 0,467A ²	0,98	0,85

*RT = rendimento total (%); A = álcali ativo (%); RD = rendimento depurado (%); R = teor de rejeitos (%); K = número kappa.

**Erro-padrão residual.

Os maiores rendimentos totais foram apresentados pelo E. grandis, seguindo-se, em ordem decrescente, a cedrorana e o morototó (Figura 27). Apenas quando foram utilizados 10% de álcali ativo, o

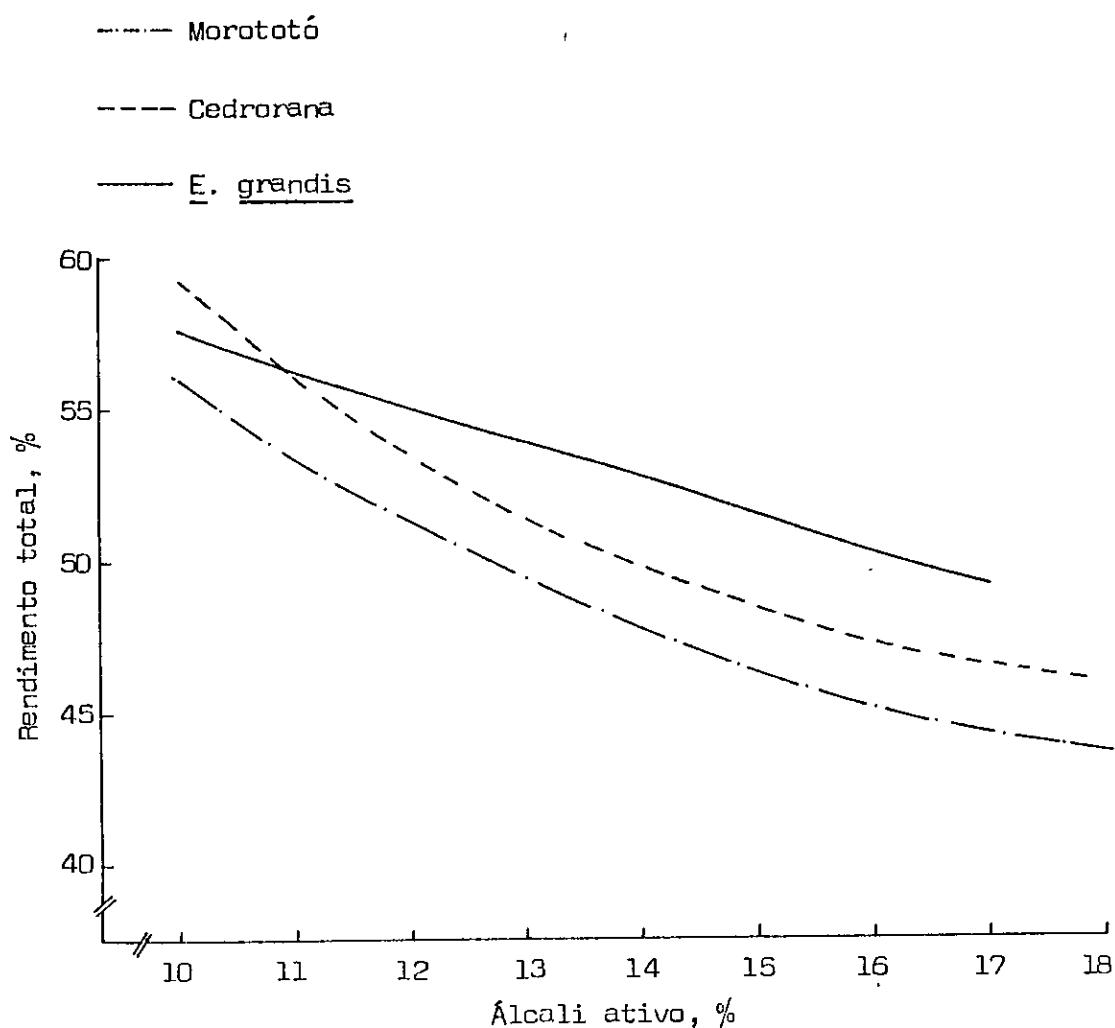


FIGURA 27 - Efeito estimado do álcali ativo no rendimento total das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

rendimento total do E. grandis foi inferior ao da cedrorana, cerca de 1,5%, base madeira seca. Entretanto, em níveis de álcali ativo superiores a 10%, o E. grandis apresentou rendimentos totais 0,6 a 2,7%, base madeira seca, superiores aos da cedrorana, e 2,9 a 5,3%, base madeira seca, superiores aos do morototó.

As madeiras amazônicas apresentaram os menores rendimentos depurados. No nível de 10% de álcali ativo, o E. grandis apresentou rendimento depurado cerca de 14% e 23%, base madeira seca, superior ao da cedrorana e ao do morototó, respectivamente (Figura 28). No nível de 17% de álcali ativo, essa diferença, estimada, foi sensivelmente reduzida, tendo o E. grandis apresentado rendimento depurado cerca de 2,3% e 5,0%, base madeira seca, superior aos da cedrorana e morototó, respectivamente.

Os menores rendimentos do morototó e da cedrorana podem ser atribuídos, provavelmente, a seus menores teores de holocelulose e maiores teores de lignina e de extractivos (Quadro 3).

O E. grandis foi a espécie que apresentou os teores mais baixos de rejeitos, tendo o morototó, em níveis mais baixos de álcali ativo, apresentado teores de rejeitos bem superiores aos da cedrorana (Figura 29). Esses resultados indicam que, para um mesmo grau de deslignificação, a cedrorana e o morototó apresentaram maiores dificuldades na individualização de suas fibras que o E. grandis, o que, entretanto, não as desclassifica como fonte de matéria-prima para produção de celulose, uma vez que os teores de rejeitos, em níveis mais baixos de número kappa, alcançaram valores aceitáveis pela indústria.

As polpas de morototó e cedrorana apresentaram os maiores valores de número kappa, num mesmo nível de álcali ativo (Quadro 4). No menor álcali ativo adotado (10%), os números kappa das três polpas foram diferentes, tendo o morototó e o E. grandis apresentado o maior e o menor número kappa, respectivamente. Essa diferença de valores entre o E. grandis e as espécies da Amazônia foi gradativamente reduzi-

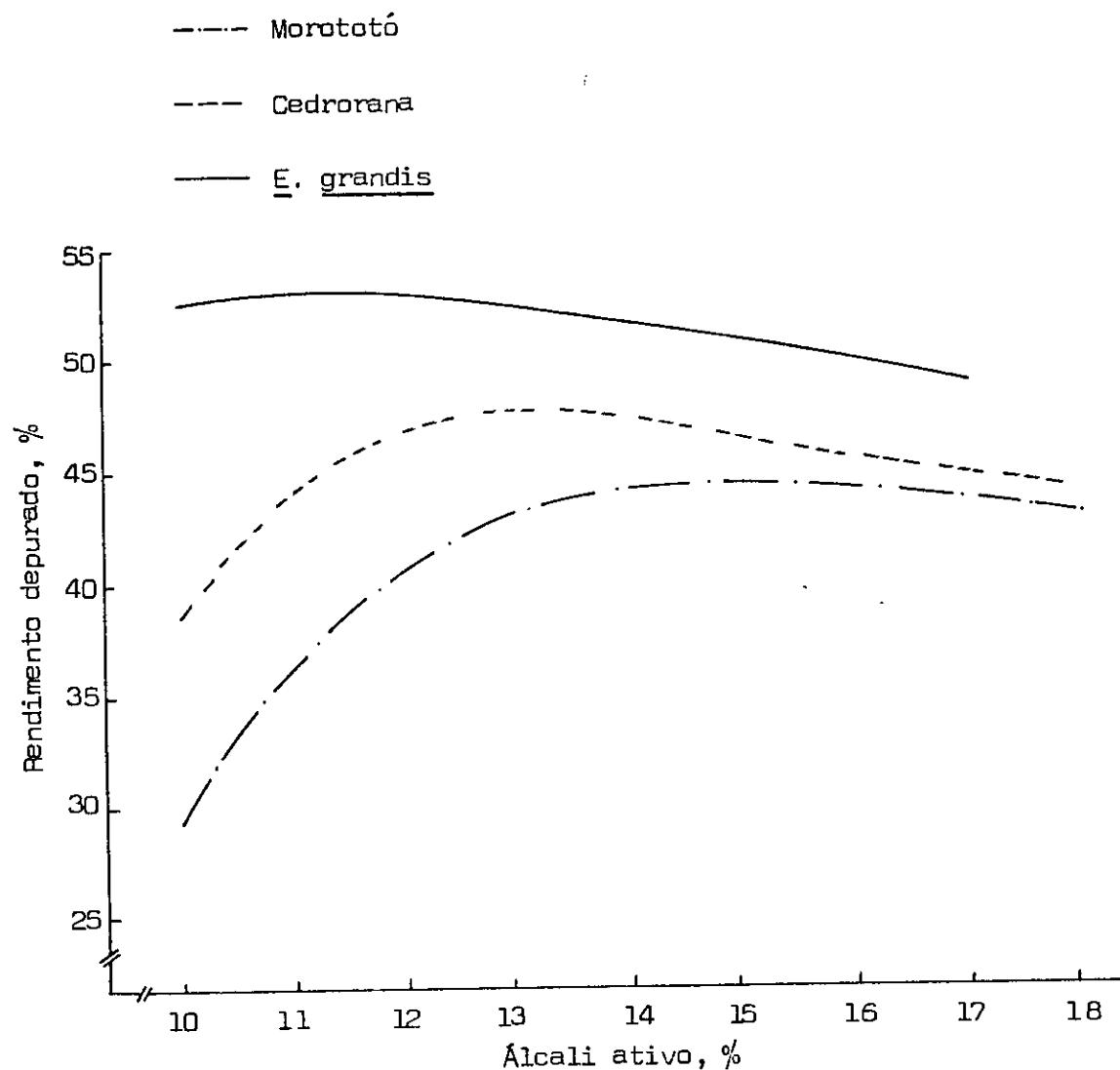


FIGURA 28 - Efeito estimado do álcaci ativo no rendimento depurado das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

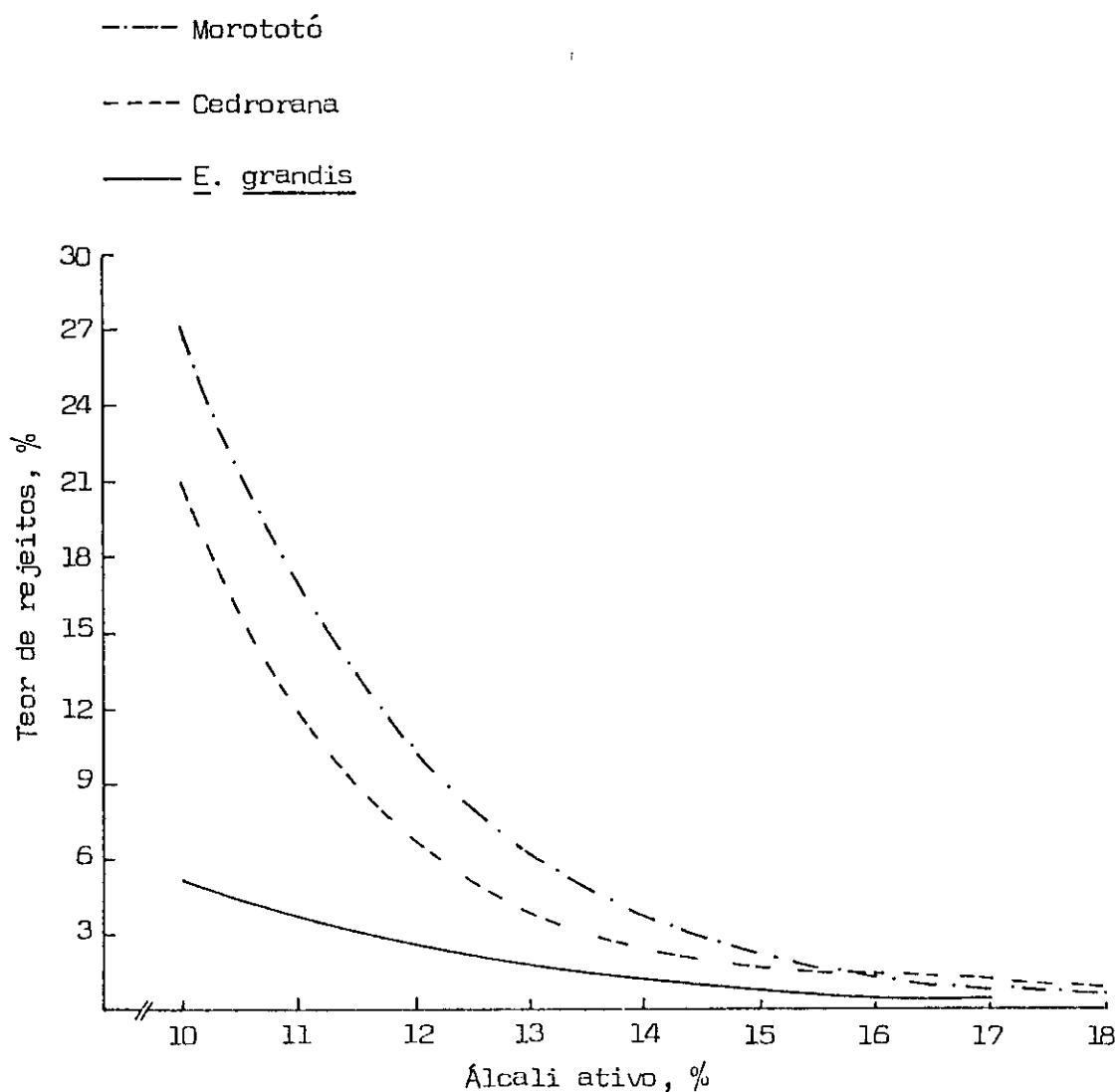


FIGURA 29 - Efeito estimado do álcali ativo no teor de rejeitos das polpas de morototó, cedrorana e *E. grandis*.

da, à medida que aumentou o álcali ativo (Figura 30). O menor teor de lignina da madeira de E. grandis foi, possivelmente, um dos fatores que causaram sua maior facilidade de deslignificação.

Na Figura 31 é mostrada a influência do grau de deslignificação ou, mais especificamente, do teor de lignina residual no rendimento, total e depurado, das polpas das três madeiras. Nessa figura pode-se observar a superioridade do E. grandis sobre as espécies amazônicas. Para número kappa 18, por exemplo, o E. grandis apresentou o maior rendimento, total e depurado (53,2 e 51,6%, respectivamente), seguindo-se a cedrorana (com rendimento total de 46,5% e depurado de 45,8%) e, finalmente, o morototó, com 44,8 e 43,6%, respectivamente.

4.6. Cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas

Utilizando as equações matemáticas estabelecidas (Quadro 5), calculou-se, para cada espécie, o álcali ativo necessário para a produção de polpa com número kappa $18,0 \pm 1,0$. Desses cozimentos, realizados com 2 repetições, foram confeccionadas folhas, para os testes físico-mecânicos, e retiradas amostras do licor residual, para análises. Os álcalis ativos adotados nesses cozimentos, o rendimento, total e depurado, o teor de rejeitos e o número kappa das polpas utilizadas na determinação das propriedades físico-mecânicas estão no Quadro 6.

4.6.1. Análises dos licores residuais

Os resultados das análises dos licores residuais acham-se no Quadro 7.

Os maiores valores de pH, teor de sólidos, teor de matéria orgânica e inorgânica e de álcali ativo residual foram apresentados pelas madeiras de morototó e cedrorana. Esses resultados, sem dúvida,

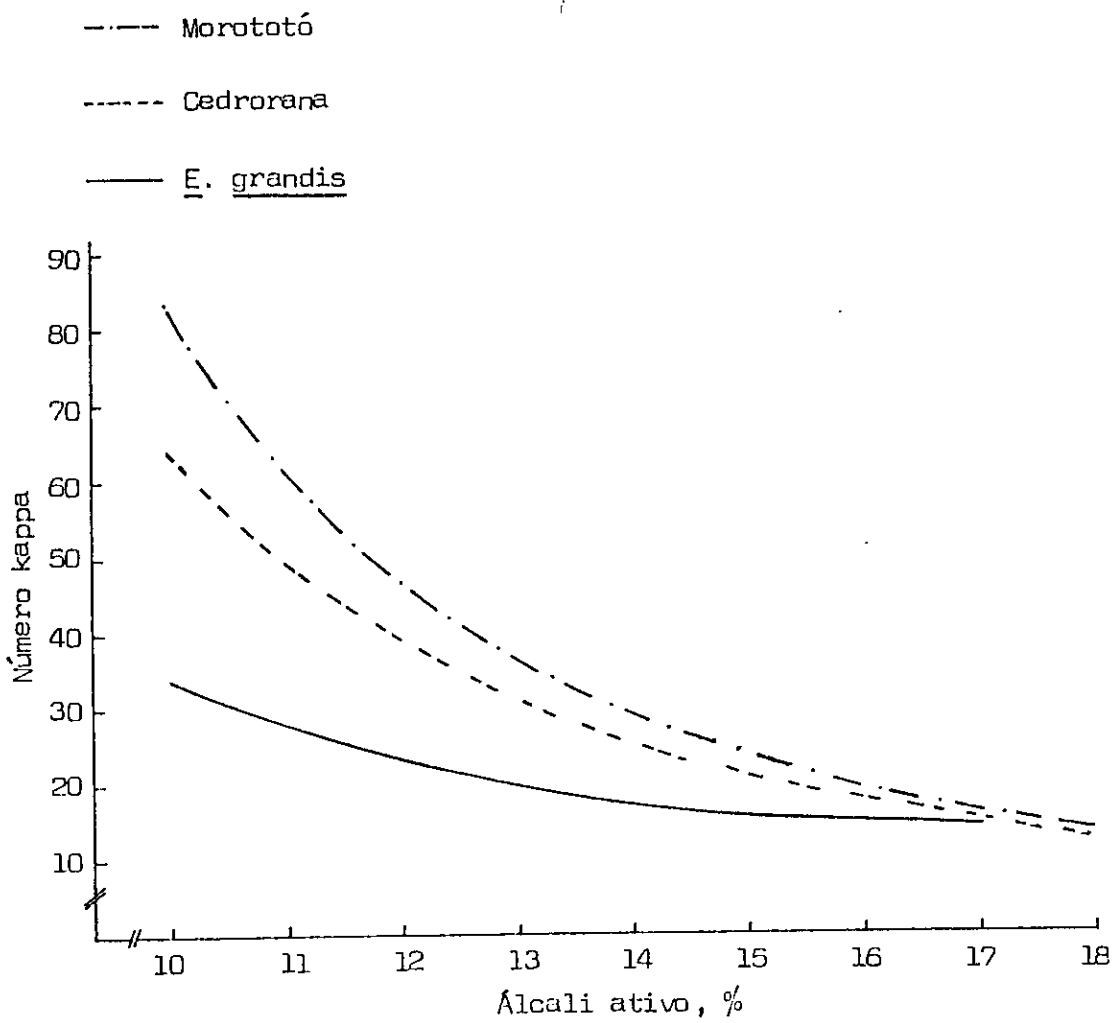


FIGURA 30 - Efeito estimado do álcali ativo no número kappa das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

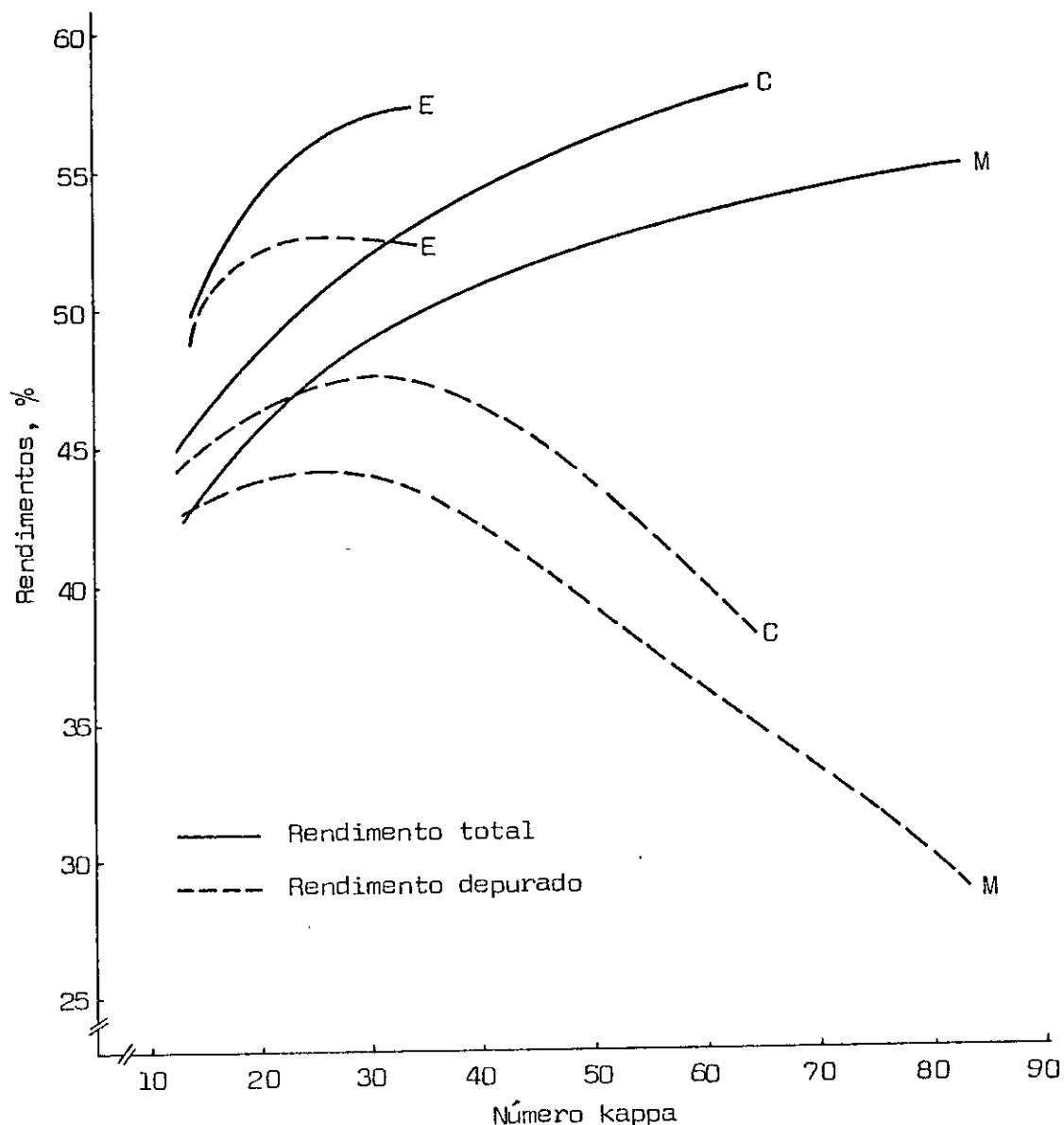


FIGURA 31 - Efeito estimado da deslignificação (número kappa) no rendimento, total e depurado, da polpação kraft das madeiras de morototó (M), cedrorana (C) e *E. grandis* (E).

QUADRO 6 - Características dos cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas celulósicas das madeiras de morotó, cedrorana e E. grandis

Espécie	Álcali ativo %	Rendimento, %	Teor de rejeitos %	Número kappa
		total		
Morotó	16,3	44,0	43,2	0,8
Cedrorana	15,9	47,1	46,0	1,1
<u>E. grandis</u>	13,7	52,0	51,3	0,7

QUADRO 7 - Resultados das análises dos licores residuais dos cozimentos para determinação das propriedades físicas-mecânicas das madeiras de morototó, cedrorana e E. grandis*

Espécie	Álcali ativo (%)	Teor de sólidos (%)	Teor de matéria orgânica (% base peso licor)	Teor de matéria inorgânica (% base peso licor)	Álcali ativo residual (g Na ₂ O/1)	pH
Morototó	16,3	15,20	8,80	6,40	11,88	13,3
Cedrorana	15,9	14,60	8,30	6,30	14,18	13,3
<u>E. grandis</u>	13,7	13,70	8,10	5,60	10,99	13,0

*Média de quatro determinações.

foram influenciados pelos diferentes álcalis ativos utilizados nos cimentos.

4.6.2. Propriedades físico-mecânicas das polpas

Os valores médios das propriedades físico-mecânicas acham-se nos Quadros 8, 9 e 10. No Quadro 11 vê-se a análise da variância dos resultados obtidos. Foram estabelecidas equações matemáticas para todas as propriedades estudadas em relação ao tempo de refino, e as respectivas equações estão no Quadro 12.

4.6.2.1. Refino

As polpas das espécies nativas da Amazônia mostraram-se mais fáceis de ser refinadas, com relativa uniformidade ao longo do refino, ao passo que a polpa de E. grandis respondeu mais lentamente a ação do refino (Quadros 8, 9 e 10 e Figura 32). As maiores facilidades de refino do morototó e da cedrorana poderiam ser consideradas importantes vantagens industriais, visto propiciarem maior economia de energia.

4.6.2.2. Resistência à tração

Os valores médios de resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, e as respectivas análises estatísticas estão nos Quadros 8, 9, 10, 11 e 13. Na Figura 33 é apresentado, graficamente, o desenvolvimento da resistência à tração, em relação ao tempo de refino, das três espécies. As polpas de morototó, cedrorana e E. grandis, quando não refinadas, não diferiram estatisticamente entre si. Tal comportamento foi mantido ao longo do tempo de refino pelas três espécies, à exceção dos tempos de 60 e 120 minutos, quando a cedrorana e o morototó diferiram estatisticamente do E. grandis, Quadro 3.

A polpa celulósica que apresentou a melhor resistência à tração

QUADRO 8 - Valores médios e respectivos desvios-padrão das propriedades físico-mecânicas das polpas de morotó, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (min)	Comprimento auto-ruptura (km)	Alongamento (%)	Índice de arrebentamento			Índice de rasgo	s	\bar{x}	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	Grau Schopper- Riegler
			\bar{x}	s	\bar{x}											
0	3,60	0,41	1,11	0,22	11,89	2,58	60,2	15,4	0,526	0,017	1,901	0,061	17,0	1,0		
30	8,63	1,03	2,94	0,31	58,50	3,62	93,1	8,2	0,680	0,009	1,467	0,018	33,0	1,0		
60	9,58	0,98	2,97	0,25	61,25	4,44	94,7	6,3	0,718	0,016	1,393	0,032	54,0	1,0		
90	10,25	1,06	3,25	0,24	63,14	3,83	90,4	3,8	0,736	0,001	1,358	0,002	62,0	1,0		
120	11,69	0,53	3,19	0,27	68,03	4,90	87,4	4,9	0,769	0,008	1,300	0,013	80,0	1,0		

\bar{x} = média

s = desvio-padrão

QUADRO 9 - Valores médios e respectivos desvios-padrão das propriedades físico-mecânicas das polpas de cedrorana, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (min)	Comprimento auto-ruptura (km)	Alongamento (%)	Índice de arrebentamento	Índice de rasgo			Densidade aparente (cm ³ /g)	Volume específico (cm ³ /g)	Grau Schopper- Riegler	
				\bar{x}	s	\bar{x}				
0	3,57	0,35	1,10	0,25	12,33	2,47	61,6	8,3	0,515	0,003
30	7,30	0,82	3,01	0,35	49,67	2,58	111	14	0,667	0,013
60	7,95	1,31	3,16	0,44	56,49	4,24	125	10	0,714	0,005
90	9,06	1,15	3,17	0,36	61,47	4,79	107	7	0,737	0,009
120	9,76	1,43	3,41	0,48	65,35	5,98	101	11	0,765	0,010
									1,307	0,017
									78,0	2,0

\bar{x} = média

s = desvio-padrão

QUADRO 10 - Valores médios e respectivos desvios-padrão das propriedades físico-mecânicas das polpas de E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (min)	Comprimento auto-ruptura (km)	Alongamento	Índice de arrebentamento (%)	Índice de rasgo			s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	Grau Schopper- Riegler
				\bar{x}	s	\bar{x}										
0	3,07	0,44	0,65	0,23	9,77	1,72	61,0	10,6	0,481	0,007	2,079	0,031	17,0	1,0		
30	7,95	0,82	2,40	0,28	46,12	2,96	132	12	0,596	0,012	1,677	0,033	26,0	1,0		
60	9,02	1,19	2,92	0,34	59,61	5,69	155	9	0,626	0,004	1,597	0,010	46,0	2,0		
90	9,45	1,31	3,30	0,24	67,76	4,04	137	6	0,654	0,002	1,529	0,005	54,0	1,0		
120	10,60	1,28	3,50	0,37	71,58	4,35	127	3	0,983	0,002	1,464	0,004	73,0	1,0		

\bar{x} = média

s = desvio-padrão

QUADRO 11 - Análise da variância das propriedades físico-mecânicas e do grau de refino das polpas de morotó, cedro-rana e *E. grandis*

Fatores	Grau	Comprimento	Indice de arrebentamento	Densidade aparente	Volumen específico	Grau
de de auto-ruptura		Alongamento				Schopper-Riegler
versão	liberdade	DN	F	QM	F	QM
E	2	37866512,00	12,53*	1,21	0,46	307,64
						1,30
						0,188
						31,33*
						1,047
						30,79*
						1185,33
						13,32*
E * TFR	3	3020540,00	-	2,65	-	235,77
						-
						0,006
						-
						0,034
						-
						89,00
						-
TFR	4	471568128,00	477,86*	58,30	776,93*	31679,06
						2225,95*
						0,491
						18375,33*
						3,643
						14537,64*
						33407,66
						21472,27*
E * TFR	8	3163648,00	3,21*	0,83	11,06*	266,96
						16,76*
						0,003
						107,60*
						0,004
						16,03*
						90,33
						58,06*
E * TFR	282	986830,94	-	0,07	-	14,23
						-
						2,7 x 10 ⁻⁶
						-
						2,5 x 10 ⁻⁴
						-
						1,56
						-

E = Espécie

TFR = Tempo de refino

*Significativo ao nível de 5% de significância.

QUADRO 12 - Equações matemáticas das propriedades físico-mecânicas, em relação ao tempo de refino, das polpas de morototó, cedro rana e E. grandis

Equações*	R^2	Sy.x**
Morototó		
SR = $16,763 + 0,699T - 0,00239T^3 + 0,000000639T^4$	0,98	2,38
AR = $3,637 + 0,246T - 0,00328T^2 + 0,0000149T^3$	0,91	0,86
AL = $1,149 + 0,0832T - 0,00109T^2 + 0,00000447T^3$	0,88	0,29
IA = $12,453 + 2,312T - 0,327T^2 + 0,000145T^3$	0,96	4,47
IR = $60,331 + 1,697T - 0,0243T^2 + 0,000101T^3$	0,70	8,70
D = $0,527 + 0,00743T - 0,0000940T^2 + 0,000000407T^3$	0,98	0,012
VE = $1,898 - 0,0209T + 0,000273T^2 - 0,00000117T^3$	0,97	0,035
Cedrorana		
SR = $18,3 + 0,503T$	0,98	2,48
AR = $3,634 + 0,164T - 0,00192T^2 + 0,00000822T^3$	0,79	1,10
AL = $1,118 + 0,0966T - 0,00138T^2 - 0,00000613T^3$	0,83	0,39
IA = $12,727 + 1,751T - 0,0218T^2 + 0,0000908T^3$	0,94	4,47
IR = $60,877 + 2,537T - 0,0272T^2 + 0,000000616T^3$	0,81	10,53
D = $0,516 + 0,00713T - 0,0000828T^2 + 0,000000339T^3$	0,98	0,009
VE = $1,938 - 0,0211T + 0,000261T^2 - 0,00000108T^3$	0,99	0,022
E. grandis		
SR = $16,214 + 0,387T + 0,000674T^2$	0,98	2,88
AR = $3,100 + 0,240T - 0,00315T^2 + 0,0000139T^3$	0,86	1,06
AL = $0,665 + 0,0780T - 0,000841T^2 + 0,00000324T^3$	0,92	0,30
IA = $10,006 + 1,597T - 0,0159T^2 + 0,0000572T^3$	0,96	4,06
IR = $60,192 + 3,501T - 0,0361T^2 + 0,000000739T^3$	0,93	8,91
D = $0,482 + 0,00528T - 0,0000622T^2 + 0,000000269T^3$	0,98	0,008
VE = $2,075 - 0,0187T - 0,000232T^2 + 0,000000985T^3$	0,98	0,027

*SR = grau Schopper-Riegler (^0SR); T = tempo de refino(min); AR = comprimento de auto-ruptura(km); AL = alongamento(%); IA = índice de arrebentamento; IR = índice de rasgo; D = densidade(g/cm^3); VE = volume específico(cm^3/g).

**Erro-padrão residual.

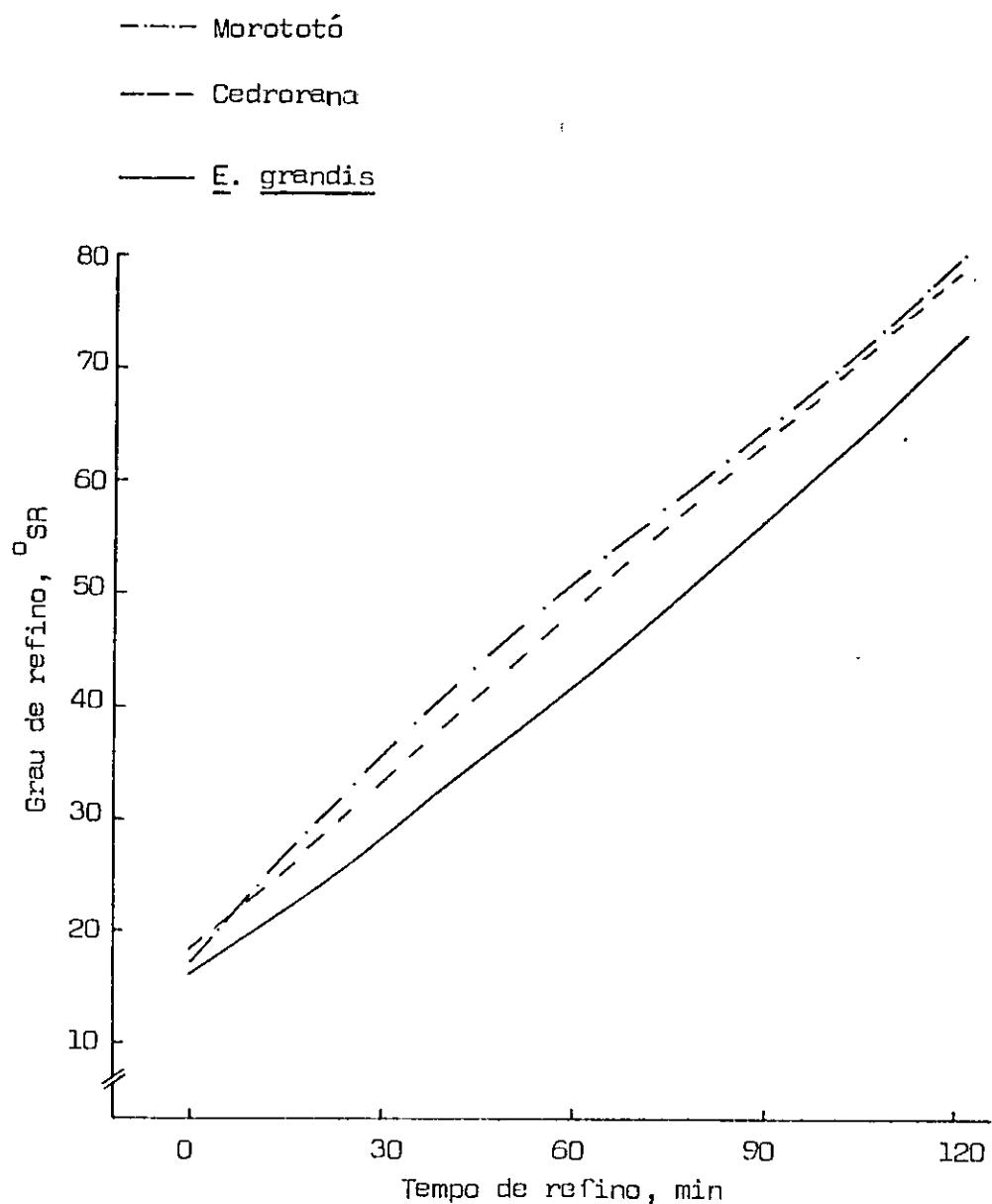


FIGURA 32 - Efeito estimado do tempo de refino no grau Schopper-Riegler das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

QUADRO 13 - Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da resistência à tração, expressos em comprimentos de auto-ruptura, em km, das espécies de morototó, cedrorana e E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Espécie	Tempo de refino (minutos)				
	0	30	60	90	120
Morototó	3,60 a*	8,63 a	9,58 a	10,25 a	11,69 a
Cedrorana	3,57 a	7,30 b	7,95 b	9,06 b	9,76 bc
<u>E. grandis</u>	3,07 a	7,95 ab	9,02 a	9,45 ab	10,60 c

* Na mesma coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

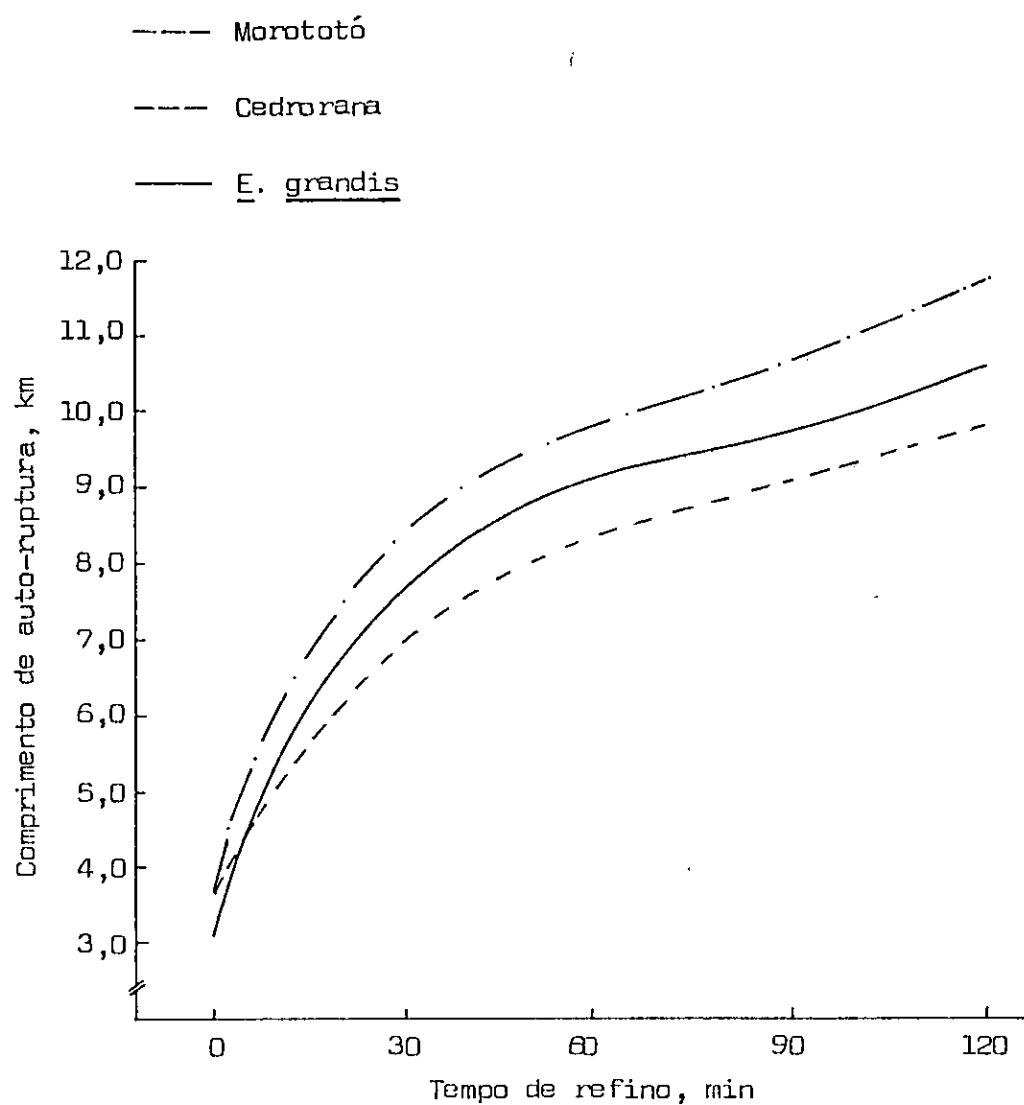


FIGURA 33 - Efeito estimado do tempo de refino no comprimento de auto-ruptura das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

foi a de morototó, seguida, em ordem decrescente, pelas de E. grandis e cedrorana (Figura 33).

A polpa de E. grandis apresentou melhor resistência à tração que a da cedrorana, apesar de apresentar menor coeficiente de flexibilidade, maior índice de Runkel e maior fração parede, indicando que outros fatores, além das dimensões das fibras, alteraram as características de resistência. Entre esses fatores, possivelmente, um dos mais importantes, que não foi determinado nesse estudo, é a resistência intrínseca das fibras.

4.6.2.3. Alongamento

Os valores médios de alongamento, expressos em percentagem, e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 8, 9, 10, 11 e 14. Na Figura 34 pode ser observado o efeito do tempo de refino no alongamento das três polpas.

Ao longo do tempo de refino, conforme se pode observar no Quadro 14, não houve diferença estatística entre os valores de alongamento das polpas das espécies da região Amazônica. As três polpas, nos tempos de refino de 60 e 90 minutos, não apresentaram diferenças estatísticas significantes de valores. No tempo máximo de refinamento, a polpa de E. grandis apresentou o melhor alongamento, mas não diferiu estatisticamente da cedrorana. Na Figura 34, verifica-se os melhores valores de alongamento das espécies amazônicas, até aproximadamente 2/3 do tempo de refinamento. Após esse intervalo de tempo, à medida que a ação do refino prolongou-se, a polpa de E. grandis apresentou melhores resultados.

4.6.2.4. Resistência ao arrebentamento

Os valores médios relativos à resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, e as respectivas análises

QUADRO 14 - Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios do alongamento, expressos em percentagem, das espécies de morototó, cedrorana e E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Espécie	Tempo de refino (minutos)				
	0	30	60	90	120
Morototó	1,11 a*	2,94 a	2,97 a	3,25 a	3,19 a
Cedrorana	1,10 a	3,01 a	3,16 a	3,17 a	3,41 ab
<u>E. grandis</u>	0,65 b	2,40 b	2,92 a	3,30 a	3,50 b

* Na mesma coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

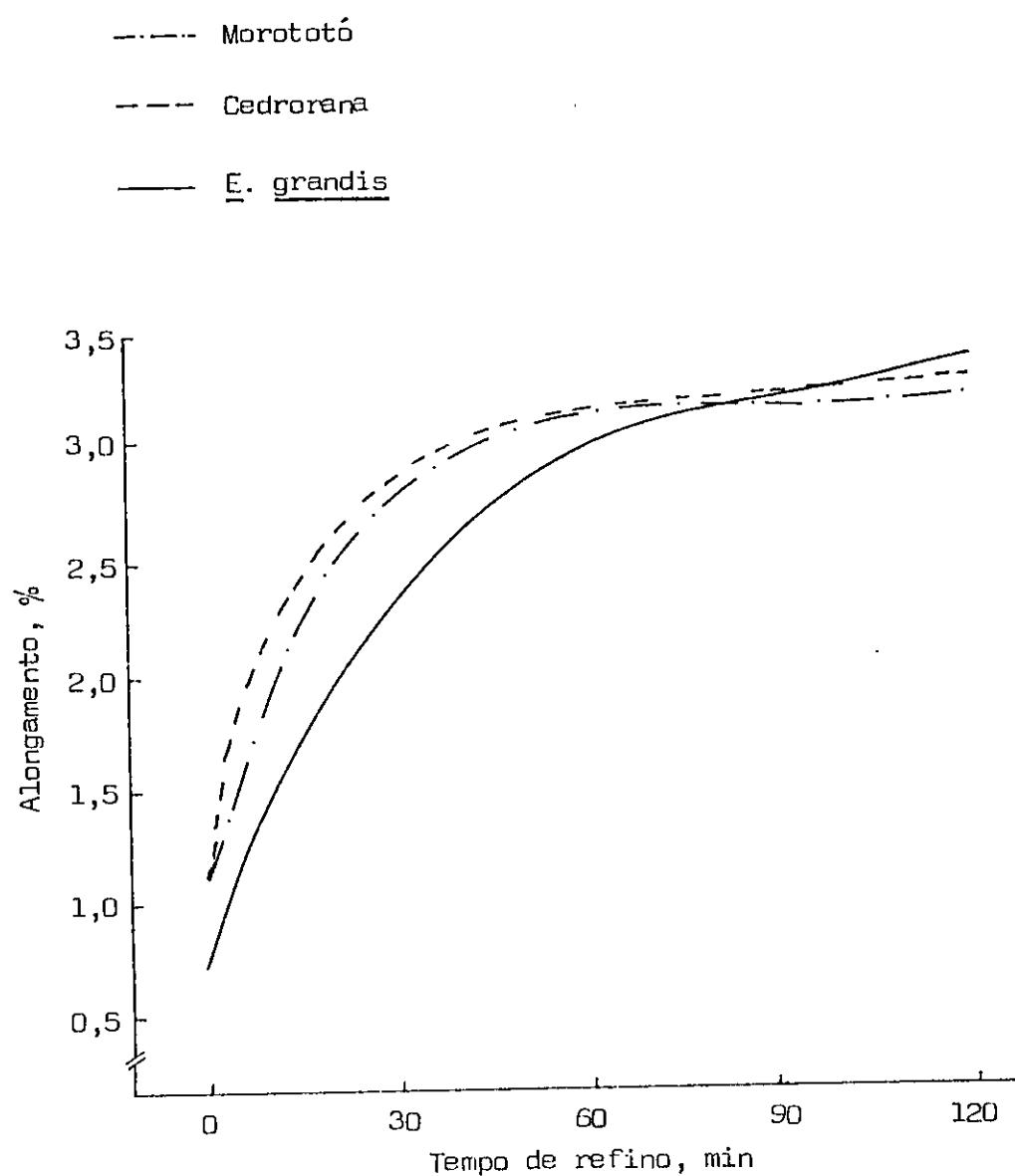


FIGURA 34 - Efeito estimado do tempo de refino no alongamento das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

estatísticas encontram-se nos Quadros 8, 9, 10, 11 e 15. Na Figura 36 vê-se o efeito do tempo de refino no desenvolvimento do índice de arrebentamento das três espécies.

Conforme pode ser verificado no Quadro 15, as polpas, quando não refinadas, não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Com 30 minutos de refino, o morototó apresentou o melhor valor de resistência ao arrebentamento, quando comparado com as outras duas espécies. Nos tempos de refino subsequentes, o E. grandis apresentou melhoria gradativa em sua resistência, chegando a suplantar as outras espécies nos tempos de 90 e 120 minutos, apesar de não ter diferido estatisticamente do morototó no tempo máximo de refino.

As polpas das espécies amazônicas, no início do refinamento, apresentaram melhor resistência ao arrebentamento que a polpa de E. grandis (Figura 35). Alcançada a metade do tempo de refino (60 minutos), a resistência do E. grandis atingiu um valor intermediário, superior ao da cedrorana e inferior ao do morototó. Ao término do refino, a polpa de E. grandis apresentou a melhor resistência ao arrebentamento, seguida pela de morototó e, finalmente, pela de cedrorana.

4.6.2.5. Resistência ao rasgo

Os valores médios da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas das três espécies e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 8, 9, 10, 16 e 17. Na Figura 36 acha-se a influência do tempo de refino na resistência ao rasgo das três espécies.

No Quadro 17 verifica-se que as polpas celulósicas de morototó, cedrorana e E. grandis, sem a ação do refino, não diferiram estatisticamente entre si. Os valores máximos da resistência ao rasgo foram alcançados com 60 minutos de refinamento, sobressaindo os valores das polpas de E. grandis e cedrorana. Na Figura 36 observa-se um acréscimo

QUADRO 15 - Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das espécies de morototó, cedrorana e E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Espécie	Tempo de refino (minutes)				
	0	30	60	90	120
Morototó	11,89 a*	58,50 a	61,25 a	63,14 a	68,03 ab
Cedrorana	12,33 a	49,67 b	56,49 b	61,47 a	65,35 a
<u>E. grandis</u>	9,77 a	46,12 b	59,61 ab	67,76 b	71,58 b

* Na mesma coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

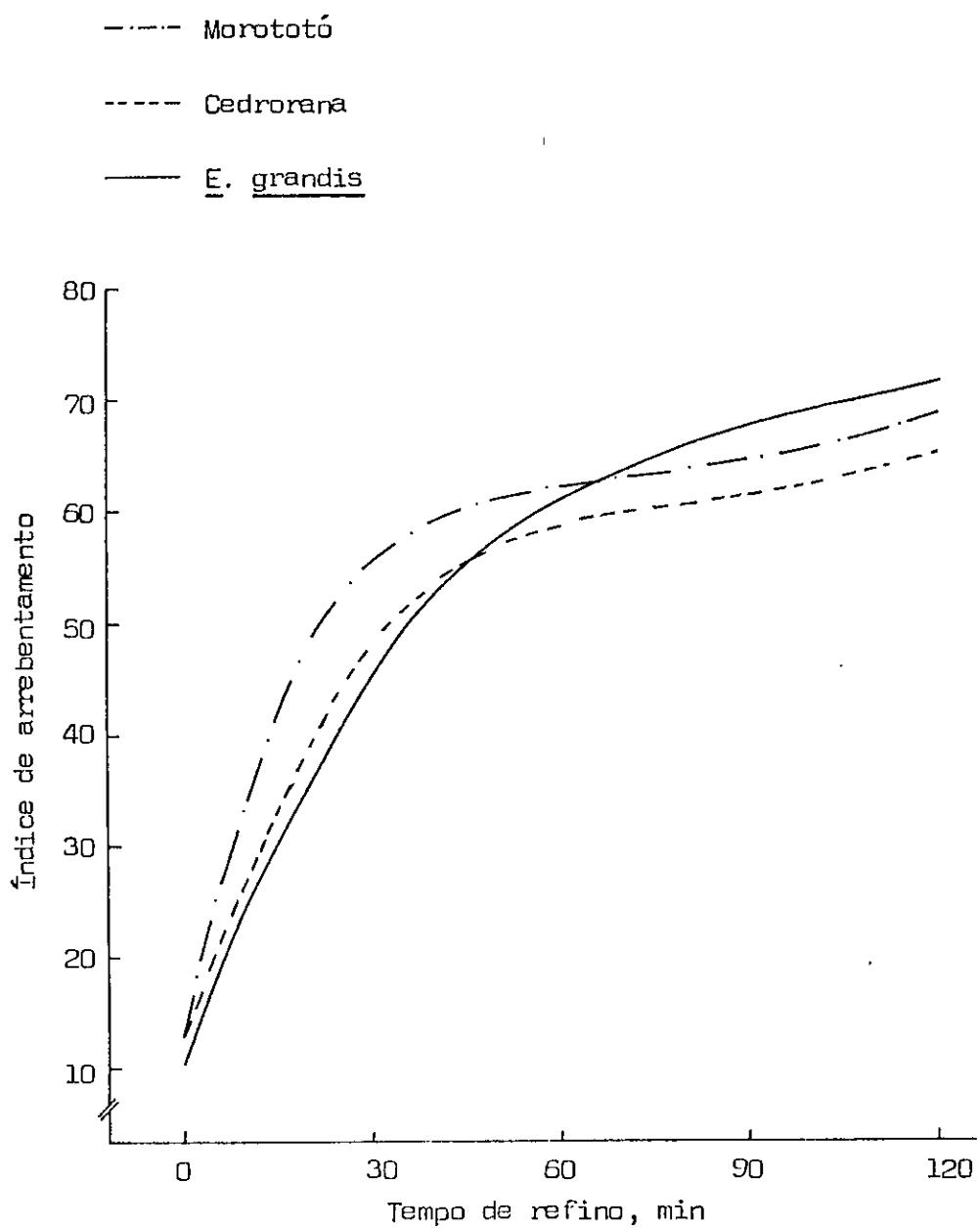


FIGURA 35 - Efeito estimado do tempo de refino no índice de arrebentamento das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

QUADRO 16 - Análise da variância da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis

Fontes	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)	F
Espécie (E)	2	17813,01	18,52*
Erro 1	3	961,82	-
Tempo de refino (TDR)	4	18220,11	265,23*
E x TDR	8	1287,66	18,74*
Erro 2	132	68,69	-

*Significativo ao nível de 5% de significância.

QUADRO 17 - Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das espécies de morototó, cedrorana e E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Espécie	Tempo de refino (minutos)				
	0	30	60	90	120
Morototó	60,2 a*	93,1 a	94,7 a	90,4 a	87,4 a
Cedrorana	61,6 a	111 b	126 b	107 b	101 b
<u>E. grandis</u>	61,0 a	132 c	155 c	137 c	127 c

* Na mesma coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

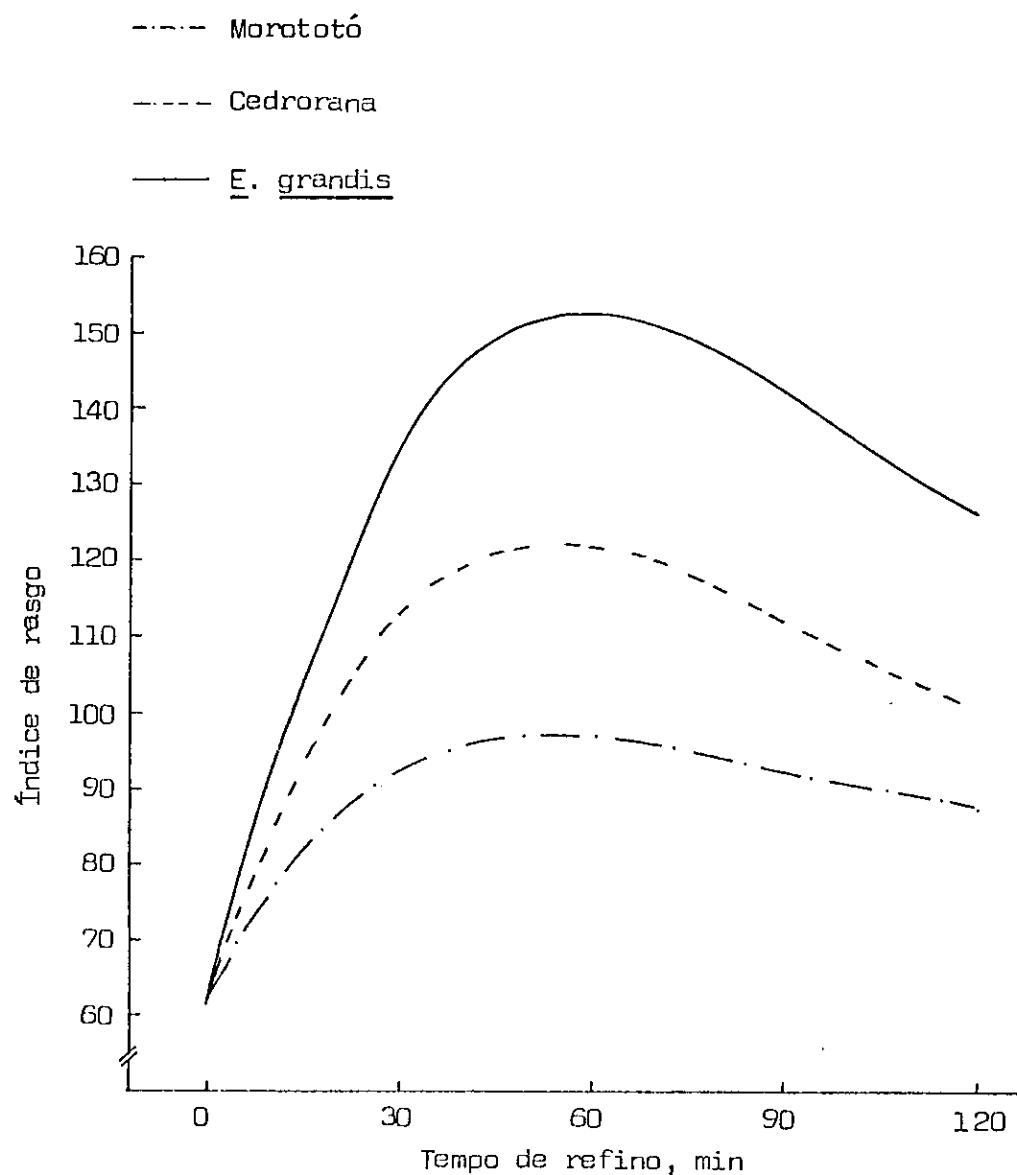


FIGURA 36 – Efeito estimado do tempo de refino no índice de rasgo das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

mo inicial no índice de rasgo e um posterior decréscimo, quando se aumentou o tempo de refino acima de 60 minutos, para as três espécies. O E. grandis e o morototó foram as espécies que apresentaram os maiores e menores valores de resistência ao rasgo, respectivamente, no de correr do refino.

A maior resistência ao rasgo das polpas de E. grandis, provavelmente, poderá estar relacionada, entre outros fatores, com a densidade mais elevada dessa madeira, visto que a cedrorana, mais densa que o morototó, apresentou, também, resistência ao rasgo superior à do morototó.

4.6.2.6. Densidade aparente

Nos Quadros 8, 9, 10, 11 e 18 acham-se os valores médios de densidade aparente, expressos em g/cm^3 , das polpas das três espécies, e as respectivas análises estatísticas. Na Figura 37 vê-se, graficamente, a influência do tempo de refino na densidade aparente das folhas de celulose das três espécies.

Nos tempos de refino de 0 a 30 minutos, as três espécies diferiram estatisticamente entre si. A partir dos 60 minutos de refino, as polpas de cedrorana e morototó apresentaram valores similares e estatisticamente diferentes dos da polpa de E. grandis (Quadro 18).

As polpas das espécies nativas da Amazônia apresentaram valores mais elevados de densidade aparente desde o tempo de 0 minuto até o tempo máximo de refinamento, ou seja, 120 minutos (Figura 37). Essa característica das polpas de morototó e cedrorana confirma os resultados dos estudos realizados por ARTUZ-SIEGEL et alii (2), que verificaram que a densidade aparente das folhas de celulose de folhosas era altamente influenciada pelo coeficiente de flexibilidade. As espécies amazônicas apresentaram os maiores valores de coeficiente de flexibilidade, o que resulta em maior número de ligações inter-fibras

QUADRO 18 - Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios da densidade aparente, expressos em g/cm³, das espécies de morototó, cedrorana e E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Espécie	Tempo de refino (minutos)				
	0	30	60	90	120
Morototó	0,526 a*	0,680 a	0,718 a	0,736 a	0,769 a
Cedrorana	0,515 b	0,667 b	0,714 a	0,737 a	0,765 a
<u>E. grandis</u>	0,481 c	0,596 c	0,625 b	0,654 b	0,683 b

* Na mesma coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

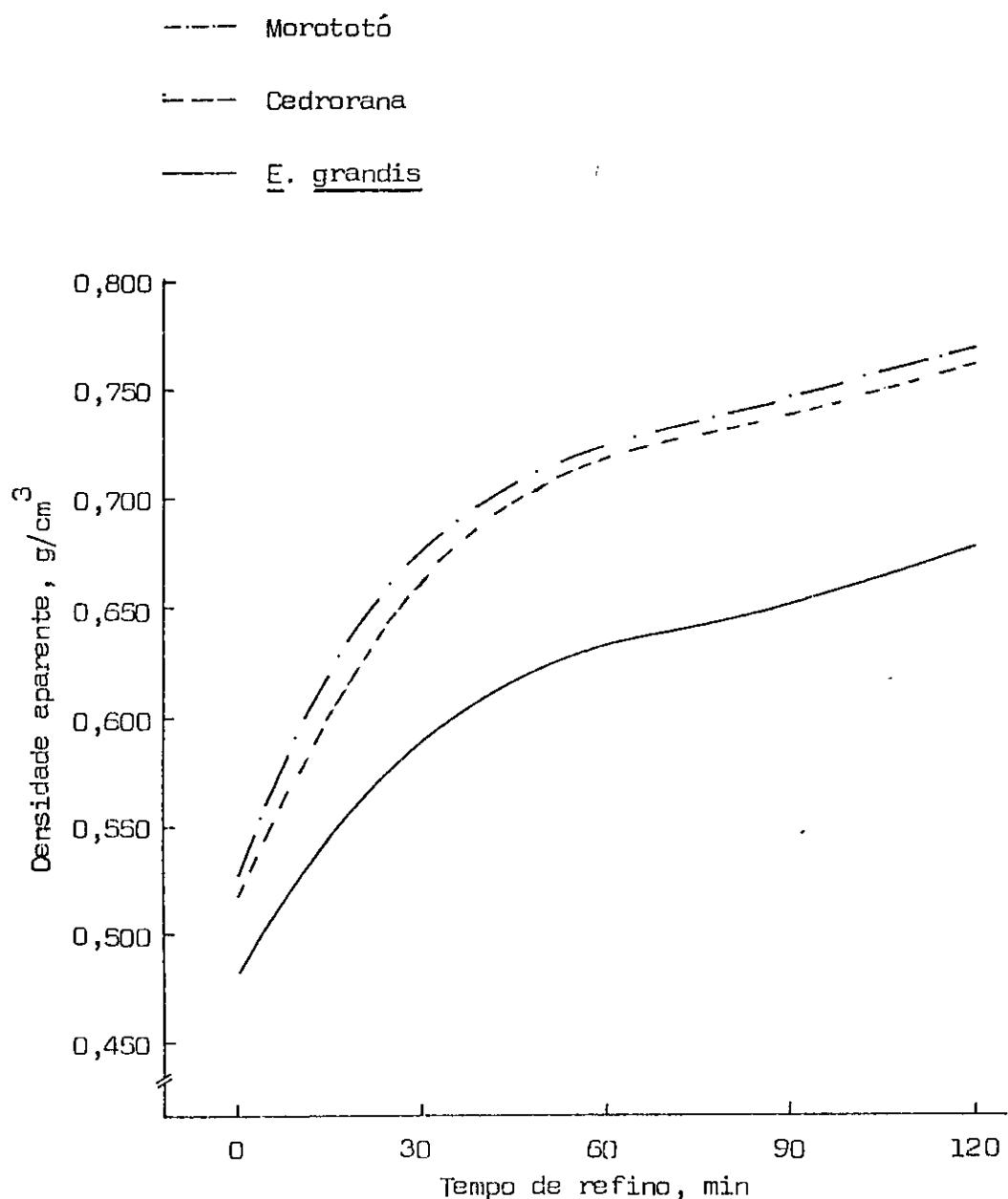


FIGURA 37 - Efeito estimado do tempo de refino na densidade aparente das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

e compactação das folhas.

4.6.2.7. Volume específico

Os valores médios referentes ao volume específico, expressos em cm^3/g , das polpas das três espécies estudadas, bem como suas análises estatísticas, acham-se nos Quadros 8, 9, 10, 11 e 19. Na Figura 38 vê-se, graficamente, a influência do tempo de refino no volume específico das folhas de celulose das três espécies.

No Quadro 19, que compreende as comparações de pares de médias, verificam-se diferenças estatísticas entre as três espécies nos 30 minutos iniciais de refino. Após esse tempo, o volume específico aparente do E. grandis diferiu estatisticamente das outras duas espécies, que, por sua vez, não diferiram estatisticamente entre si.

QUADRO 19 - Comparações, pelo teste de Tukey, dos valores médios do volume específico, expressos em cm^3/g , das espécies de morototó, cedrorana e E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Espécie	Tempo de refino (minutos)				
	0	30	60	90	120
Morototó	1,901 a*	1,469 a	1,393 a	1,358 a	1,300 a
Cedrorana	1,942 b	1,499 b	1,400 a	1,356 a	1,307 a
<u>E. grandis</u>	2,077 c	1,677 c	1,597 b	1,529 b	1,464 b

* Na mesma coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

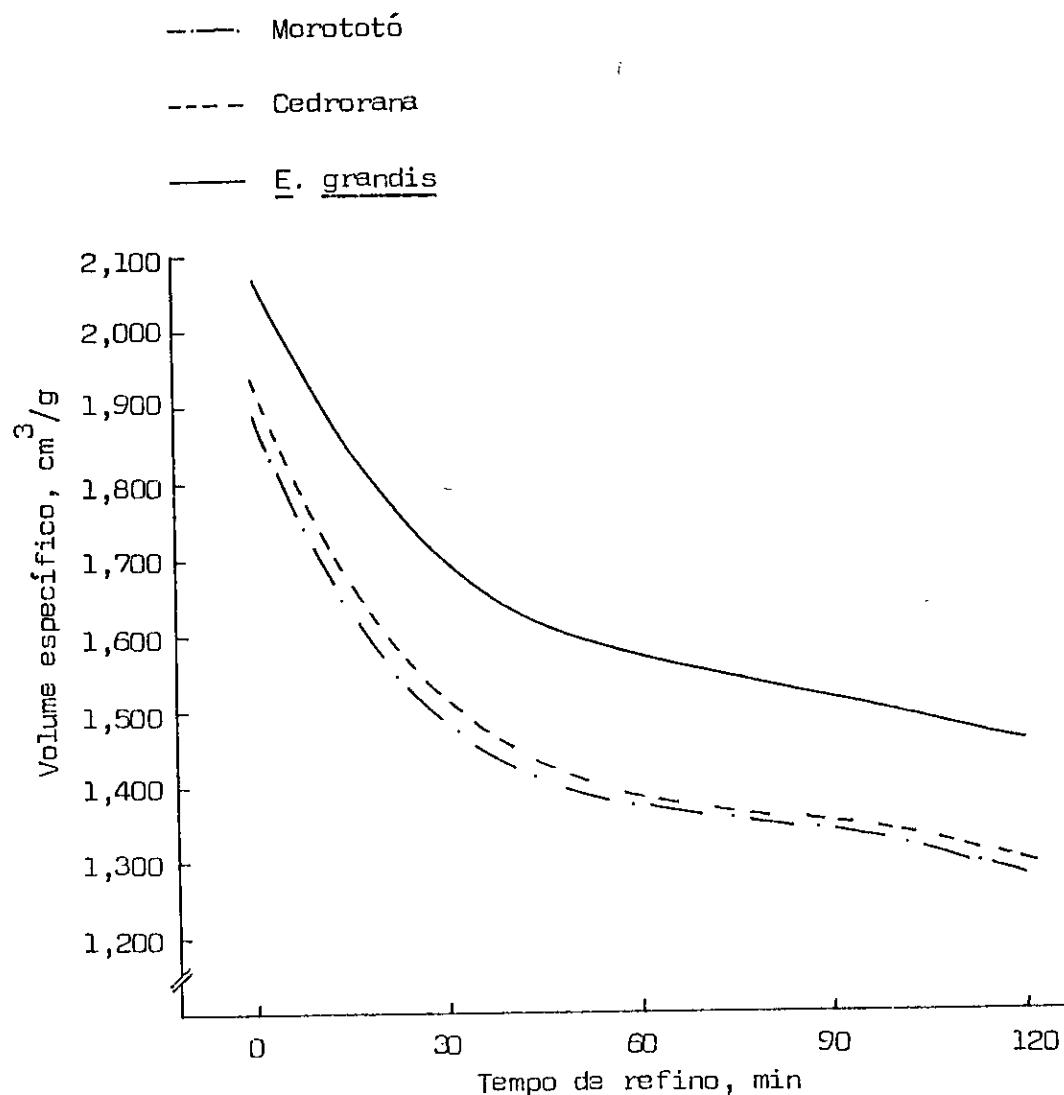


FIGURA 38 - Efeito estimado do tempo de refino no volume específico das polpas de morototó, cedrorana e E. grandis.

5. RESUMO E CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o potencial, para produção de celulose pelo processo kraft, de duas espécies nativas da Amazônia, o morototó e a cedrorana. O E. grandis foi incluído no estudo para efeito de comparação.

Foram realizados cozimentos das três espécies, com vários níveis de álcali ativo, para estudos de deslignificação. Os testes de resistência físico-mecânicas foram realizados com polpas de número kappa $18,0 \pm 1,0$. As análises estatísticas compreenderam análises de regressão e variância e testes de Tukey.

As fibras das madeiras da Amazônia apresentaram maiores dimensões, maiores coeficientes de flexibilidade e menores valores de índices de enfeltramento, índices de Runkel e frações parede que as da madeira de E. grandis. As densidades das madeiras amazônicas foram inferiores à da madeira de E. grandis, porém dentro dos limites normalmente utilizados nas indústrias. Os menores teores de holocelulose e os maiores teores de lignina, de solubilidade e de cinzas influíram nos rendimentos, total e depurado, das madeiras da Amazônia, que apresentaram valores inferiores aos da madeira de E. grandis, num mesmo nível de álcali ativo. As folhosas amazônicas mostraram-se mais difíceis de ser deslignificadas, o que, entretanto, não influiu na percentagem de rejeitos, que se mostrou praticamente igual à do E. grandis,

para o grau de deslignificação de $18,0 \pm 1,0$. As polpas das madeiras da Amazônia apresentaram maior facilidade de refino. A resistência à tração da polpa de morototó apresentou superioridade, ao longo do tempo de refino, sobre a das outras duas espécies. Os alongamentos e os índices de arrebentamento das polpas das três espécies apresentaram valores similares. A resistência ao rasgo da polpa de E. grandis foi superior à das folhosas amazônicas. As polpas das madeiras nativas da Amazônia apresentaram maiores densidades aparentes e, consequentemente, menores volumes específicos que os do E. grandis.

As madeiras de morototó e cedrorana, apesar de apresentarem algumas características inferiores às do E. grandis, apresentaram resultados que, em linhas gerais, as caracterizam como de boa qualidade para a produção de celulose kraft. O processamento industrial da madeira de morototó poderá necessitar de tratamentos especiais no setor de recuperação, por causa do seu elevado teor de sílica.

6. LITERATURA CITADA

1. ALENCAR, J.C. & ARAÚJO, V.C. de. Comportamento de espécies florais amazônicas quanto a luminosidade. Acta Amazônica. (No prelo).
2. ARTUZ-SIEGEL, E.A.; WANGAARD, F.F. & TAMOLANG, F.N. Relationships between fiber characteristics and pulp-sheet properties of philippine hardwoods. Tappi 51 (6): 261-67, 1968.
3. ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Normas Técnicas ABCP, São Paulo. [s.d.] .
4. BERUTTI, P.A. A política do IBDF para a Amazônia. Silvicultura 5: 11-14, mar/abr, 1977.
5. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. Revista Ceres 21 (113): 73-85, 1974.
6. BROWNING, B.L. Methods of wood chemistry. Interscience Publishers, New York, 1967, 882 p.
7. BUCH, C. & LIMA, J.H.M. Morototó no reflorestamento do Norte e Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2º, Curitiba, 1973. Anais, São Paulo, SBS, 1973. p. 86-87.
8. CARVALHO, W.A.T. de. A tecnologia das matérias-primas celulosicas brasileiras. O papel 31 (2): 27-44, 1970.
9. COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS, 3: 1 - 19, nov. 1973. [s.n.t.]
10. FERNANDES, N.P. Departamento de Silvicultura, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus-AM. (Informações pessoais).

11. FROÉS, R.L. Informações sobre algumas plantas econômicas do Plano Amazônico. Belém. Instituto Agronômico do Norte. 1959. 113 p. (Boletim Técnico nº 35).
12. HAGER, H.M. Características físico-mecânicas de madeiras da região Amazônica - SUDAM DOCUMENTA 3 (1/4): 59-82. 1972.
13. KRIBS, D.A. Salient lines of structural specialization in the wood rays of dicotyledons. Botanical gazette 96 (3): 547-557, 1935.
14. LE COINTE, P. Árvores e plantas úteis (indígenas e aclimadas). Amazônia Brasileira III. 2ª ed. São Paulo, Brasiliiana 5 (251). 1947. 496 p.
15. LOUREIRO, A.A. & SILVA, M.F. da. Catálogo das madeiras da Amazônia. v.1. Belém, SUDAM. 1968. 433 p.
16. _____; SILVA, M.F. da. & ALENCAR, J.C. Essências madeireiras da Amazônia. v.1. Manaus, SUFRAMA. 1979. 245 p.
17. _____; _____ & _____. Essências madeireiras da Amazônia. v.2. Manaus, SUFRAMA. 1979. 187 p.
18. LUZ, A.A. da. Estudos integrados dos recursos florestais da Amazônia. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Manaus, 1978. Anais, São Paulo, SBS, 1978. p. 26-30.
19. MAINIERI, C. Madeiras leves da Amazônia empregadas em caixotaria. Estudo anatômico macro e microscópico. Anuário Brasileiro de Economia Florestal 18: 121-173. 1967.
20. MUNSELL color chart for plant tissues. 2ª ed. Baltimore, Munsell Color, 1968. [s.p.]
21. OVERBECK, W. Pastas celulósicas de madeiras da Amazônia. São Paulo, IPT, 1968. 31 p. (Publicação nº 828).
22. RECORD, S.J. & HESS, R.W. Timbers of the new world. New Haven, Yale University, 1949, 640 p.
23. RYDHOLM, S.A. Pulping Processes. New York, Interscience, 1965. 1269 p.
24. SILVA, D.J. da. Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos). Viçosa, Univ. Federal, 1981. 166 p.
25. SILVA, M.F. da., LISBOA, P.L.B. & LISBOA, R.C.L. Nomes vulgares de plantas amazônicas. Belém, INPA, 1977, 222 p.

26. SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. Pesquisas e informações sobre espécies florestais da Amazônia. Belém, 1979, 111 p.
27. TAMOLANG, F.N. & WANGAARD, F.E. Relationships between hardwood characteristics and pulp-sheet properties. Tappi 44 (3): 201-216. 1961.
28. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. TAPPI Standard Methods. Atlanta.
29. YARED, J.A.G.; CARPANEZZI, A.A. & CARVALHO FILHO, A.P. Ensaio de espécies em várias áreas da região Amazônica. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3º, Manaus, 1978. Anais, São Paulo, SBS, 1978. v.2. p. 438-441.

APÊNDICES

Apêndice A

Constituição química e resultados dos cozimentos, preliminares e para determinação das propriedades físico-mecânicas, das madeiras de morototó, cedrorana e E. grandis.

QUADRO 1A - Constituição química das madeiras de morotó, cedronana e E. grandis

Análises	Morotó			Cedronana			<u>E. grandis</u>		
	Resultado, %			Resultado, %			Resultado, %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Solubilidade em:									
• água fria	3,5	3,8	3,6	2,2	2,2	2,1	1,8	1,9	1,9
• água quente	5,5	5,0	5,6	4,6	4,7	4,5	3,1	3,2	3,1
• álcool/benzeno	3,3	3,2	3,3	3,4	3,6	3,5	3,4	3,2	3,2
• NaOH 1%	18,3	18,8	18,0	15,3	15,3	15,0	13,7	13,4	13,1
Teor de:									
• holocelulose	72,7	73,3	73,0	75,3	76,0	75,5	78,3	78,1	78,3
• pentosanas	23,7	24,1	24,0	20,7	21,1	20,9	19,5	19,5	19,9
• lignina	26,9	27,3	27,0	24,1	24,0	24,3	21,1	21,9	21,6
• cinzas	2,80	2,81	2,80	0,22	0,23	0,24	0,16	0,15	0,14

QUADRO 2A - Resultados dos cozimentos preliminares das madeiras de morotó, cedronara e *E. grandis*

Álcali ativo, %	Cozimento	Morotó			Cedronara			<i>E. grandis</i>			
		RT	RD	TR	RT	RD	TR	RT	RD	TR	
10	A	56,9	28,5	28,4	91,2	58,9	37,4	21,5	69,3	57,2	5,1
	B	56,2	29,7	25,5	85,6	59,5	38,7	20,8	70,6	57,3	51,9
11	A	53,0	34,7	18,3	63,0	55,7	43,8	11,9	52,2	56,9	53,3
	B	53,6	36,1	17,5	62,3	56,6	45,6	11,0	53,2	56,5	52,4
12	A	50,8	41,1	9,7	44,2	53,9	46,8	7,1	42,5	55,1	52,3
	B	51,1	41,9	9,2	43,6	53,7	46,2	7,5	42,0	55,4	53,3
13	A	51,2	43,3	7,9	31,8	51,3	47,4	3,9	28,1	53,3	51,7
	B	49,5	42,1	7,4	29,0	51,6	47,8	3,8	26,3	54,1	52,4
14	A	49,1	43,5	5,6	26,5	48,9	46,8	2,1	20,4	53,0	51,5
	B	47,8	44,1	3,7	25,7	49,7	47,2	2,5	20,1	52,3	51,0
15	A	46,4	44,6	1,8	21,6	48,5	46,4	2,1	19,1	51,9	50,8
	B	46,5	44,3	2,2	21,4	48,0	46,1	1,9	18,4	51,8	50,7
16	A	45,3	43,7	1,6	18,6	48,2	46,4	1,8	17,7	51,3	50,5
	B	45,2	43,8	1,4	19,7	47,1	45,4	1,7	17,1	49,9	49,3
17	A	44,6	43,6	1,0	18,0	47,3	45,8	1,5	16,8	49,5	49,2
	B	43,7	42,5	1,2	17,1	46,3	45,0	1,3	16,5	48,7	48,5
18	A	43,2	42,3	0,9	15,7	45,4	44,6	0,9	14,8	-	-
	B	42,7	41,7	1,0	17,0	45,6	44,9	0,7	15,1	-	-

RT = rendimento total (%); RD = rendimento depurado (%); TR = teor de rejeitos (%); NK = número kappa.

QUADRO 3A - Resultados dos cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das madeiras de morotó, cedronana e E. grandis

Espécies	Álcali ativo %	Cozimentos		Rendimento, %	Téor de rejeitos	Número kappa
		total	depurado			
Morotó	16,3	A	43,8	43,8	0,8	18,2
		B	44,3	43,4	0,9	18,9
Cedronana	15,9	A	46,9	45,9	1,0	17,1
		B	47,4	46,1	1,3	17,5
<u>E. grandis</u>	13,7	A	51,6	51,0	0,6	17,7
		B	52,5	51,7	0,8	17,9

Apêndice B

Análises e resultados dos licores residuais dos cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das madeiras de morotó, cedrorana e E. grandis.

1. Análises do licor residual

1.1. Determinação do álcali ativo residual

- Pipetar 5 ml do licor residual
- Transferir para um Erlenmeyer de 250 ml e adicionar 50 ml de água destilada e 25 ml de BaCl₂ 10%
- Adicionar 5 ml de formaldeído 40% (volume)
- Adicionar 5 gotas de fenolftaleína e titular com HCl 0,5 N até pH 8,3
- Calcular:

$$\text{g/l} = \text{ml HCl gasto} \times \text{fator} \times 3,1$$

1.2. Determinação do teor de sólidos

- Pesar 10 g do licor residual em cadinho de porcelana, previamente calcinado e tarado (tara = A gramas)
- Secar em estufa, a 105 ± 3 °C, até peso constante
- Pesar novamente (B gramas)
- Calcular:

$$\% \text{ sólidos} = (B - A) \times 10$$

1.3. Determinação do teor de matéria orgânica e inorgânica (base peso licor)

- Calcinar em mufla, a 600 °C, durante 6 horas, o resíduo de determinação do teor de sólidos
- Retirar da mufla e deixar esfriar em dessecador
- Pesar novamente (C gramas)
- Calcular:

$$\% \text{ matéria inorgânica} = (C - A) \times 10$$

$$\text{Peso matéria orgânica} = (B - C)$$

$$\% \text{ matéria orgânica} = (B - C) \times 10$$

QUADRO 18 - Resultados das análises dos licores resíduais dos cozimentos para determinação das propriedades físico-mecânicas das madeiras de morototó, cedrorana e *E. grandis*

Espécies	Álcali ativo (%)	Teor de sólidos (%)	Teor de matéria orgânica (% base peso licor)	Teor de matéria inorgânica (% base peso licor)	Álcali ativo residual (g Na ₂ O/l)		pH
					(% base peso licor) (g Na ₂ O/l)	(g Na ₂ O/l)	
Morototó	16,3	15,20	8,80	6,40	12,12	13,4	
		15,30	8,80	6,50	11,96	13,4	
	16,3	15,20	8,80	6,40	11,81	13,2	
		15,30	8,90	6,40	11,65	13,2	
Cedrorana	15,9	14,70	8,30	6,40	14,61	13,4	
		14,50	8,10	6,40	14,61	13,4	
	15,9	14,50	8,20	6,30	13,67	13,3	
		14,80	8,50	6,30	13,83	13,3	
<i>E. grandis</i>	13,7	13,80	8,10	5,70	11,66	13,1	
		13,90	8,20	5,70	11,50	13,1	
	13,7	13,50	8,00	5,50	10,41	12,9	
		13,50	7,90	5,60	10,41	12,9	

Apêndice C

Comprimentos de auto-ruptura, alongamentos, índices de arrebentamento e índices de rasgo das polpas de morototó, cedrorana e E.
grandis.

QUADRO 1C - Valores de resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas de morototó, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Comprimentos de auto-ruptura [km]					
		A	B	A	B	A	B
0	A	3,67	3,49	3,29	2,88	2,96	3,12
	B	4,37	3,20	3,62	4,19	4,37	3,67
30	A	9,20	8,88	9,84	9,06	9,74	8,75
	B	7,00	7,99	7,84	7,16	7,16	10,55
60	A	8,51	8,81	8,81	8,13	10,08	8,76
	B	8,63	8,93	8,47	10,84	10,45	8,82
90	A	11,04	11,46	10,32	10,58	9,71	10,19
	B	8,51	8,26	9,96	10,96	11,13	9,77
120	A	11,49	10,79	12,16	11,26	12,10	11,04
	B	12,24	12,04	12,04	12,38	12,15	11,56

QUADRO 2C - Valores de resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas de cedroaria, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Comprimentos de auto-ruptura (km)						
		0	30	60	90	120	150	180
0	A	3,83	4,09	3,85	3,60	3,72	3,08	3,51
	B	3,19	3,49	4,01	3,65	2,96	3,91	3,15
30	A	6,52	6,90	8,70	6,45	6,76	8,54	6,73
	B	8,62	8,66	7,62	8,34	7,51	6,94	7,11
60	A	7,49	6,96	6,39	9,73	8,91	7,10	7,43
	B	10,74	8,05	7,42	10,63	9,86	8,03	7,53
90	A	10,57	8,54	7,99	9,32	8,90	8,54	9,65
	B	7,42	11,57	10,39	9,52	10,32	10,08	8,66
120	A	7,37	10,68	9,66	8,07	11,13	7,62	7,79
	B	11,17	11,22	8,26	11,17	10,83	7,93	10,25

QUADRO 3C – Valores de resistência à trAÇÃO, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas de E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Comprimentos de auto-ruptura [km]					
		0	30	60	90	120	
0	A	3,00	3,05	2,71	3,17	3,00	2,94
	B	2,76	3,25	2,85	3,88	4,04	3,18
30	A	6,99	7,30	6,86	8,78	8,45	7,47
	B	8,60	8,84	7,23	7,13	7,56	8,36
60	A	7,53	8,51	8,42	7,45	9,71	10,45
	B	10,04	10,31	9,38	7,75	8,35	10,34
90	A	8,69	7,97	9,36	8,47	8,19	9,86
	B	8,69	8,52	8,80	7,59	10,84	10,01
120	A	11,41	11,28	12,09	12,55	11,41	11,87
	B	11,04	11,45	11,39	11,28	11,50	10,83

QUADRO 4C – Valores de alongamento, expressos em percentagem, das polpas de morototó, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Alongamentos (%)					
		A	B	C	D	E	F
0	A	1,25	1,50	1,00	0,75	0,75	1,25
	B	1,25	0,75	1,00	1,25	1,00	1,25
30	A	3,25	2,75	3,25	3,00	3,25	3,00
	B	2,50	3,00	2,50	2,25	2,50	3,00
60	A	3,25	3,00	2,75	3,00	2,75	3,25
	B	2,75	2,50	2,75	2,75	3,00	3,25
90	A	3,75	3,75	3,25	3,00	3,00	3,00
	B	3,00	3,25	3,25	3,25	3,50	3,25
120	A	3,00	3,25	3,75	3,00	3,25	3,00
	B	3,25	3,25	3,25	2,75	3,25	3,75

QUADRO 5C - Valores de alongamento, expressos em percentagem, das polpas de cedrorana, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempos de refino (minutos)	Cozimentos	Alongamentos (%)					
		A	B	C	D	E	F
0	A	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00
	B	1,00	1,25	1,50	1,25	0,75	1,50
30	A	2,75	2,75	2,50	3,00	3,00	2,50
	B	3,25	3,75	3,50	3,75	3,00	3,00
60	A	3,25	2,50	2,50	3,25	3,00	3,25
	B	3,75	3,25	3,25	4,00	3,25	3,75
90	A	3,50	2,75	2,50	2,75	3,25	2,75
	B	3,25	3,75	3,00	3,00	3,75	3,00
120	A	2,50	3,25	3,00	2,75	3,25	3,00
	B	3,75	3,75	4,00	4,00	4,25	4,00

QUADRO 6C - Valores de alongamento, expressos em percentagem, das polpas de E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Alongamentos (%)							
		0	30	60	90	0	30	60	90
0	A	0,50	0,75	0,50	0,75	0,50	0,75	0,50	0,50
	B	0,25	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	0,75
30	A	2,50	2,00	2,50	2,50	2,75	2,75	2,25	2,75
	B	2,25	2,75	1,75	2,25	2,50	2,50	2,25	2,75
60	A	3,00	3,00	3,25	2,50	2,75	3,00	2,50	2,25
	B	2,75	3,25	3,00	2,75	3,00	3,50	3,25	2,25
90	A	3,25	3,00	3,25	3,00	3,00	3,25	3,00	3,50
	B	3,25	3,50	3,25	3,50	3,50	3,75	3,50	3,25
120	A	3,25	3,25	3,00	3,75	3,25	3,00	3,25	3,75
	B	3,25	3,50	4,00	4,00	4,25	4,00	3,75	3,50

QUADRO 7C - Valores de resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas de morototó, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Índices de arrebentamento							
		A				B			
0	A	9,26	9,26	9,26	11,57	9,26	11,57	9,26	10,80
	B	12,58	13,36	11,79	11,00	15,72	17,29	14,15	17,29
30	A	49,76	60,99	56,18	51,36	54,57	59,39	56,18	56,18
	B	61,39	60,58	60,58	60,58	62,20	58,16	56,54	62,60
60	A	60,95	60,95	51,07	51,07	60,95	65,90	57,66	60,95
	B	66,00	61,06	59,40	67,66	61,06	62,71	64,36	61,01
90	A	57,95	62,91	59,60	66,22	62,91	61,26	62,91	59,60
	B	63,44	64,27	63,44	65,11	66,78	60,93	58,43	66,78
120	A	60,81	67,57	62,50	62,50	69,26	65,88	65,88	64,19
	B	73,25	73,25	74,96	78,36	64,73	73,25	63,03	69,85

QUADRO 8C - Valores de resistência ao arreberentamento, expressos pelo índice de arreberentamento, das polpas de cedro-rana, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Índices de arreberentamento							
		A				B			
0	A	10,37	10,37	11,16	11,16	10,37	11,16	10,37	10,37
	B	15,87	15,82	11,90	17,46	14,28	11,90	12,70	15,08
30	A	46,49	46,49	52,20	47,31	50,57	48,12	48,94	50,57
	B	47,00	46,19	55,91	48,62	48,62	48,62	48,62	50,24
60	A	54,10	57,38	54,10	58,20	53,28	56,56	50,82	57,38
	B	56,48	53,15	56,48	68,11	49,83	56,48	63,12	59,80
90	A	58,24	66,55	54,91	64,89	58,24	61,56	58,24	59,90
	B	58,14	63,95	65,61	53,97	63,12	68,11	58,14	64,78
120	A	55,93	71,77	55,93	60,93	60,93	60,10	66,78	55,09
	B	77,05	68,68	64,49	69,51	67,00	67,00	71,19	70,35

QUADRO 9C - Valores de resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas de E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Índices de arrebentamento							
		A				B			
0	A	8,67	8,67	10,25	7,89	10,25	7,89	7,89	8,67
	B	11,81	11,81	11,81	9,45	9,45	11,81	13,38	8,66
30	A	48,39	48,39	43,55	48,39	46,77	50,00	51,61	48,39
	B	45,53	47,92	43,93	45,53	43,13	46,32	41,53	42,33
60	A	52,37	48,28	54,01	57,28	55,65	60,56	54,01	59,74
	B	63,83	58,92	61,37	67,10	65,47	65,47	69,56	67,10
90	A	66,44	73,09	68,11	69,77	68,11	71,43	64,78	73,09
	B	57,75	67,66	74,26	66,01	74,26	67,66	70,13	66,01
120	A	74,79	65,55	73,95	77,31	70,59	68,91	73,95	70,59
	B	71,06	62,60	71,06	71,91	79,53	76,14	66,99	69,37

QUADRO 10C - Valores de resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas de morototó, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos		Índices de rasgo				
	A	B	0	44,4	42,0	46,9	44,4
0	51,8	75,5	78,0	75,5	70,4	70,4	72,9
	84,7	103	97,1	86,3	82,2	84,7	84,7
60	103	103	101	99,2	102	102	90,5
	100	103	97,7	92,2	92,2	87,0	92,2
80	103	103	97,7	103	103	95,0	84,5
	87,4	93,5	87,4	84,8	84,8	98,0	92,7
90	89,2	89,2	90,8	90,8	90,8	90,8	88,1
	87,2	87,2	94,6	83,8	83,8	89,2	78,4
120	87,2	87,2	87,2	81,8	82,7	82,7	89,9

QUADRO 11C - Valores de resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas de cedrorana, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempos de refino (minutos)	Cozimentos	Índices de rasgo			
		A	B	C	D
0	A	51,0	61,2	53,6	63,8
	B	55,9	66,0	68,6	60,9
30	A	112	117	130	123
	B	90,8	122	104	87,1
60	A	123	123	134	139
	B	117	130	114	109
90	A	112	112	106	117
	B	101	114	98,3	104
120	A	104	115	112	112
	B	93,8	88,4	102	85,8
					88,4

QUADRO 12C - Valores de resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas de E. grandis, nos tempos de refino de 0 a 120 minutos

Tempo de refino (minutos)	Cozimentos	Índices de rasgo			
		A	B	C	D
0	A	68,1	63,0	68,0	78,1
	B	63,0	63,0	68,0	78,1
30	A	134	134	116	142
	B	148	148	133	123
60	A	157	157	157	165
	B	133	133	165	149
90	A	130	130	141	133
	B	132	132	137	137
120	A	132	129	129	126
	B	124	124	127	127