

Gláucia Soares Barbosa de Alencar
Engenheira Florestal

Qualidade da Madeira de Espécies do Gênero *Acacia* Plantadas no Brasil

Orientador:
Prof. Dr. **FRANCIDES GOMES DA SILVA JÚNIOR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de
Produtos Florestais

**Piracicaba
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Alencar, Gláucia Soares Barbosa de
Qualidade da madeira de espécies do gênero *Acacia* plantadas no Brasil / Gláucia
Soares Barbosa de Alencar. - - Piracicaba, 2009.
132 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Acácia 2. Bactérias fixadoras de nitrogênio 3. Celulose de madeira - Rendimento
4. Leguminosae 5. Madeira - Qualidade - Propriedades físico-químicas 6. Polpação 7.
Simbiose 8. Tecnologia da madeira I. Título

CDD 634.973321
A368q

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

“Dentro de cada um de nós existe uma força maior nos impulsionando, nos encorajando a prosseguir, nos fazendo crer no dia de amanhã. Tudo sabe, tudo vê, tudo pode. Se não fosse por ela, eu não teria chegado até aqui.

A esta força maior, chamada Deus, eu dedico este trabalho”.

(Carla R. dos Santos)

Muito obrigada!

Aos meus pais, Agenor e Edela pelo amor, compreensão e dedicação em que tiveram ao me mostrarem o caminho...

Ao meu marido, Severino Matias, que tem me incentivado nesta caminhada...

À minha irmã, Bianca, pelo grande carinho demonstrado nestes últimos tempos...

Aos meus filhos, Vinícius e ao novo bebê, pela oportunidade de conhecer o amor incondicional....

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Francides Gomes da Silva Júnior, pela oportunidade de crescimento, ensinamentos, orientação e amizade.

Ao Professor Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo, pelo ensinamento que todo trabalho precisa ter: fé, entusiasmo e dedicação bem como o apoio e amizade oferecido nestes anos de trabalho na ESALQ.

Ao Professor Dr. José Luiz Stape, pelas constantes discussões e sugestões para desenvolvimento deste trabalho.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Ciências Florestais pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – pelo suporte financeiro necessário a realização do trabalho.

Ao Laboratório de Química Celulose e Energia, por ter sido fundamental nestes quatro anos de trabalho e todos que fazem parte desta grande equipe: aos Técnicos Udemilson Luiz Ceribelli e Maria Regina Buch, aos companheiros de trabalho Lívia, Marileide, Camila, Fábio Almeida, Fernando, Francismara, Fabiana, Fernanda, Miguel e aos estagiários: Gustavo, Tadeu, Ana Maria, Camila, Giovana, Juliana, Ana Paula e Raphael.

Ao funcionário do IPEF Eveli Ramos pela colaboração no processamento das matérias-primas.

Ao funcionário da Biblioteca do IPEF Paulo Sérgio Beraldo e a coordenadora da Biblioteca do IPEF Marialice Metzker Poggiani, pela disponibilidade e empenho em ajudar.

À Votorantim Celulose e Papel pela oportunidade de processar as matérias-primas e a Eng^a Florestal Ana Gabriela Monnerat Carvalho Bassa, que apoiou com as amostras de madeira para análise.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS.....	15
1 Introdução	16
2 DESENVOLVIMENTO	18
2.1 Revisão Bibliográfica.....	18
2.1.1 O Gênero <i>Acacia</i>	18
2.1.2 A <i>Acacia</i> como matéria-prima da indústria de celulose e papel.....	19
2.2 Material e Métodos.....	23
2.2.1 Material.....	23
2.2.1.1 Origem do material genético	24
2.2.1 Amostragem	25
2.2.2 Caracterização anatômica da madeira	29
2.2.2.3 Composição química.....	30
2.2.2.4 Desempenho frente ao processo de polpação Kraft	30
2.2.2.5 Lavagem e Depuração	31
2.2.2.5 Parâmetros determinados em cada cozimento	31
2.2.2.6 Delineamento experimental e análise estatística	32
2.3 Resultados e discussão.....	32
2.3.1 Densidade básica da madeira	34
2.3.2 Composição química da madeira	66
2.3.3 Dimensões das fibras	70
2.3.4 Polpação	77
3 CONCLUSÕES	114
REFERÊNCIAS.....	116
APÊNDICES.....	125

RESUMO

Qualidade da madeira de espécies do gênero *Acacia* plantadas no Brasil

O gênero *Acacia* apresenta espécies florestais de rápido crescimento, com rotações curtas (7 a 9 anos) e de grande interesse comercial para produção de polpa celulósica, painéis de madeira e energia. No Brasil a utilização de espécies do gênero *Acacia* na produção de celulose de fibra curta ainda é bastante restrita e são poucos os estudos que demonstram a potencialidade do uso dessa matéria-prima para a obtenção de polpa celulósica com as propriedades alcançadas pelas espécies do gênero *Eucalyptus*. Este trabalho teve como objetivo analisar o potencial de algumas espécies do gênero *Acacia* (*A. aulacocarpa*, *A. auriculiformis*, *A. crassicarpa*, *A. mangium*) plantados no Brasil, para a produção de polpa celulósica Kraft, considerando os aspectos relacionados à qualidade da madeira e da polpa, o consumo de reagentes químicos na polpação e também os aspectos relacionados ao rendimento e a capacidade de produção de polpa celulósica; adicionalmente buscou-se fornecer informações estratégicas para o setor celulósico nacional com relação as possíveis ameaças e as oportunidades apresentadas pelos materiais não utilizados no Brasil. Para realização deste trabalho foram utilizados 11 materiais genéticos distintos e cada um dos materiais genéticos foi considerado um tratamento e todos com 5 anos de idade. As características avaliadas foram: densidade básica, dimensões das fibras, composição química e parâmetros da polpação kraft (rendimento bruto, rendimento depurado, teor de rejeitos, número kappa e relações). Para este último objetivo, as madeiras de cada uma das espécies foram submetidas ao processo de polpação kraft, considerando-se seis níveis de álcali ativo: 18,0; 19,5; 21,0; 22,5; 24,0 e 25,5%, mantendo-se constantes as outras variáveis de cozimento. Observou-se que o modelo de variação longitudinal para densidade básica da árvore mantém uma tendência dos valores serem mais elevados na base e valores mínimos entre 25 e 50% da altura comercial. Quanto à composição química os valores foram distintos para todas as espécies e apresentaram uma variação de 60,99% para *A. auriculiformis* (1) e 68,79% para *A. aulacocarpa* (1) como valores mínimo e máximo. Os resultados obtidos quanto às dimensões das fibras não apresentaram padrões definidos de variação entre as espécies. Notou-se quanto aos parâmetros da polpação um efeito diferenciado entre as espécies de *Acacia* para as distintas cargas de álcali ativo. Considerando a curva de polpação para obtenção de número kappa 18 entre as espécies estudadas, obteve-se como média para a demanda carga de alcalina 23,8% e a média do rendimento depurado nestas condições foi 54,72%. A espécie *A. crassicarpa* procedência (1) destacou-se por apresentar a maior conversão em massa (ton/ha) de madeira na produção de celulose e a *A. mangium* procedências (1, 2, 3 e principalmente 4) alcançaram os melhores resultados de rendimento frente ao processo kraft de polpação comparando todas as espécies deste estudo.

Palavras-chave: Matérias-primas; *Acacia aulacocarpa*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*, Processo de Polpação Kraft.

ABSTRACT

Wood quality of species of the genus *Acacia* planted in Brazil

The genus *Acacia* includes fast-growing short-rotation (7 to 9 years) forest tree species of commercial interest to produce pulp, wood panels, and energy. In Brazil, the utilization of species of the genus *Acacia* to produce short fiber pulp is still highly restricted and few studies are available that demonstrate the potential use of this raw material to obtain pulp presenting the properties displayed by species of the genus *Eucalyptus*. This study aimed at analyzing the potential of some species of the genus *Acacia* (*A. aulacocarpa*, *A. auriculiformis*, *A. crassicarpa*, *A. mangium*) planted in Brazil to produce kraft pulp, considering the aspects related to wood and pulp quality, consumption of chemical reagents during the pulping process, yield, and cellulose pulp production capacity. Furthermore, this work searched for strategical information for the national pulp and paper sector as to possible threats and opportunities presented by materials not used in Brazil in order to provide knowledge and discuss the potential competitiveness of these types of wood in the world market for pulp and paper. To accomplish these goals, we used 11 5-year-old distinct genetic materials, each one of them considered a different treatment. The following traits were evaluated: basic density, longitudinal variation, fiber dimensions, chemical composition, and kraft pulping process parameters (total yield, screened yield, rejects content, kappa number and relations). To carry out these evaluations, each wood species underwent the kraft pulping process considering six levels of active alkalis: 18.0, 19.5, 21.0, 22.5, 24.0, and 25.5%, keeping all other cooking variables constant. We observed that the model of longitudinal variation in the basic density maintains the trend of reaching higher values in the base of the tree and minimum values between 25% and 50% of the commercial height. The values found for the chemical composition were different for all the species studied and the holocellulose content ranged from a minimum of 60.99% found for *A. auriculiformis* (1) to a maximum of 68.79% found for *A. aulacocarpa* (1). The results obtained for fiber dimensions did not present defined patterns of variation among the species. The kraft pulping process parameters showed differences among *Acacia* species for the distinct levels of active alkalis. Considering the pulping process curve to get the kappa number of 18 among the species studied, the average alkali demand was 23.8% and the average deperated yield under these conditions was 54.72%. *A. crassicarpa* procedure 1 presented the highest conversion into wood mass (t/ha) to produce cellulose and *A. mangium* procedures (1, 2, 3, and mainly 4) reached the best results in terms of yield when they underwent the kraft pulping process compared to all the species studied herein.

Keywords: Raw materials, *Acacia aulacocarpa*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*, Kraft pulping process

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Picador semi-industrial utilizado para picagem dos toretes.....	26
Figura 2 – Amostragem de discos para densidade básica.....	27
Figura 3 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de <i>Acacia aulacocarpa</i> (2)	39
Figura 4 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de <i>Acacia auriculiformis</i> , procedências (1, 2 e 3).....	45
Figura 5 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de <i>Acacia crassicarpa</i> , procedências (1 e 2)	49
Figura 6 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de <i>Acacia mangium</i> , procedências (1, 2, 3 e 4).....	57
Figura 7 – Correlação entre densidade básica da madeira e incremento médio anual dos materiais considerados neste trabalho.....	58
Figura 8 – Densidade básica da madeira média ponderada	63
Figura 9 – Índice de heterogeneidade.....	66
Figura 10 – Comprimento das fibras	73
Figura 11 – Largura das fibras	73
Figura 12 – Diâmetro do lume.....	74
Figura 13 – Espessura das fibras.....	74
Figura 14 – Fração parede.....	75
Figura 15 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de <i>A. aulacocarpa</i>	83
Figura 16 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de <i>A. auriculiformis</i>	92
Figura 17 – Efeito da carga alcalina sobre o rendimento depurado para espécie de <i>A. crassicarpa</i>	98
Figura 18 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de <i>A. crassicarpa</i>	99
Figura 19 – Efeito da carga alcalina sobre o rendimento depurado para espécie de <i>A. mangium</i>	108

Figura 20 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de *A. mangium*
..... 109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades da madeira e da polpa kraft de acácias australianas	21
Tabela 2 - Caracterização das matrizes genéticas.....	25
Tabela 3 - Parâmetros do processo de polpação e as respectivas normas	32
Tabela 4 - Características silviculturais dos materiais (tratamentos) considerados neste trabalho.	33
Foram considerados dois materiais genéticos de <i>A. aulacocarpa</i> , os quais foram designados como (1) e (2). Na tabela 5 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de <i>A. aulacocarpa</i> (1).	35
Tabela 5 - Densidade básica da madeira de <i>Acacia aulacocarpa</i> (1) e índice de heterogeneidade.	35
Tabela 6 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia aulacocarpa</i> (1).....	36
Tabela 7 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia aulacocarpa</i> (2) e índices de heterogeneidade.	37
Tabela 8 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia aulacocarpa</i> (2).....	38
Tabela 9 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia auriculiformis</i> (1) e índices de heterogeneidade.....	40
Tabela 10 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia auriculiformis</i> (1).....	41
Tabela 11 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia auriculiformis</i> (2) e índices de heterogeneidade.....	42
Tabela 12 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia auriculiformis</i> (2).....	43
Tabela 13 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia auriculiformis</i> (3) e índices de heterogeneidade.....	43
Tabela 14 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia auriculiformis</i> (3).....	44
Tabela 15 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia crassicarpa</i> (1) e índices de heterogeneidade	46

Tabela 16 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia crassicarpa</i> (1).....	47
Tabela 17 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia crassicarpa</i> (2) índices de heterogeneidade.	48
Tabela 18 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia crassicarpa</i> (2).....	49
Tabela 19 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia mangium</i> (1) e índices de heterogeneidade	50
Tabela 20 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia mangium</i> (1)	51
Tabela 21 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia mangium</i> (2) e índices de heterogeneidade.....	52
Tabela 22 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia mangium</i> (2)	53
Tabela 23 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia mangium</i> (3) e índices de heterogeneidade	54
Tabela 24 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia mangium</i> (3)	55
Tabela 25 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para <i>Acacia mangium</i> (4) e índices de heterogeneidade.....	56
Tabela 26 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de <i>Acacia mangium</i> (4)	57
Tabela 27 – Modelos de equação de variação longitudinal das espécies de <i>Acacia</i> 61	
Tabela 28 - Análise da variância e teste F para densidade básica média ponderada.62	
Tabela 29 - Teste de Tukey para densidade básica da madeira média ponderada..63	
Tabela 30 – Valores de massa das espécies de <i>Acacia</i>	65
Tabela 31 – Características químicas das madeiras	68
Tabela 32 – Dimensões das fibras	71
Tabela 33 – Valores médios de polpação de <i>A. aulacocarpa</i> (1), desvio padrão e coeficiente de variação.....	78

Tabela 34 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. aulacocarpa</i> (1)	79
Tabela 35 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. aulacocarpa</i> (1)	80
Tabela 36 – Valores médios de polpação de <i>A. aulacocarpa</i> (2), desvio padrão e coeficiente de variação.....	81
Tabela 37 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. aulacocarpa</i> (2)	82
Tabela 38 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. aulacocarpa</i> (2)	82
Tabela 39 – Valores médios de polpação de <i>A. auriculiformis</i> (1), desvio padrão e coeficiente de variação.....	84
Tabela 40 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. auriculiformis</i> (1).....	85
Tabela 41 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. auriculiformis</i> (1).....	86
Tabela 42 – Valores médios de polpação de <i>A. auriculiformis</i> (2), desvio padrão e coeficiente de variação.....	87
Tabela 43 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. auriculiformis</i> (2).....	88
Tabela 44 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. auriculiformis</i> (2).....	89
Tabela 45 – Valores médios de polpação de <i>A. auriculiformis</i> (3), desvio padrão e coeficiente de variação.....	90
Tabela 46 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. auriculiformis</i> (3).....	91
Tabela 47 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. auriculiformis</i> (3).....	92
Tabela 48 – Valores médios de polpação de <i>A. crassicarpa</i> (1), desvio padrão e coeficiente de variação.....	93

Tabela 49 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. crassicarpa</i> (1)	95
Tabela 50 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. crassicarpa</i> (1)	95
Tabela 51 – Valores médios de polpação de <i>A. crassicarpa</i> (2), desvio padrão e coeficiente de variação.....	96
Tabela 52 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. crassicarpa</i> (2)	97
Tabela 53 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. crassicarpa</i> (2)	97
Tabela 54 – Valores médios de polpação de <i>A. mangium</i> (1), desvio padrão e coeficiente de variação.....	100
Tabela 55 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (1).....	101
Tabela 56 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (1).....	101
Tabela 57 – Valores médios de polpação de <i>A. mangium</i> (2), desvio padrão e coeficiente de variação.....	102
Tabela 58 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (2).....	103
Tabela 59 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (2).....	103
Tabela 60 – Valores médios de polpação de <i>A. mangium</i> (3), desvio padrão e coeficiente de variação.....	104
Tabela 61 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (3).....	105
Tabela 62 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (3).....	105
Tabela 63 – Valores médios de polpação de <i>A. mangium</i> (4), desvio padrão e coeficiente de variação.....	106

Tabela 64 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (4).....	107
Tabela 65 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de <i>A. mangium</i> (4).....	107
Tabela 66 – Modelos de equação do rendimento depurado das espécies de <i>Acacia</i>	110
Tabela 67– Modelos de equação do número kappa das espécies de <i>Acacia</i>	111
Tabela 68 – Relação carga alcalina e rendimento depurado para número kappa 18 e consumo de madeira por tonelada de polpa seca produzida.....	112

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS

BA	Bahia
° C	grau Celsius
°	grau
° SR	grau Schopper-riegler
'	minuto
Cwa	clima mesotérmico de inverno úmido
cm	centímetro
cm ³ /g	centímetro cúbico por grama
DAP	diâmetro a altura do peito
Db	densidade básica (g/cm ³)
Dbp	densidade básica ponderada (g/cm ³)
g/cm ³	grama por centímetro cúbico
Fc	valor de F calculado
F5%	valor de F tabelado
FV	fonte de variação
g	grama
GL	grau de liberdade
g/m ²	grama por metro quadrado
ha	hectare
HC	altura comercial da árvore
IH	índice de heterogeneidade
IMA	incremento médio anual
ISO	International Organization for Standardization
L/kg	litro por kilograma
mm	milímetro
m ³	metro cúbico
P	probabilidade
PNG	Papua New Guinea
%	porcentagem
QLD	Queensland
QM	quadrado médio
SQ	soma de quadrado
t	tonelada
TAPPI	Technical Association of Pulp and Paper Industry

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por diferentes tipos de polpas celulósicas de fibra curta, bem como a globalização de seus mercados, vem estimulando pesquisas de matérias-primas mais apropriadas para sua produção. Neste contexto a polpa celulósica de eucalipto e o Brasil têm ocupado posição de destaque.

O Brasil é o maior produtor mundial de celulose e papel a partir de fibras de eucalipto. Segundo dados da BRACELPA, em 2007 o setor brasileiro de papel e celulose produziu 11.998.000 t de polpa celulósica, o que representou um aumento de 7,3% em relação ao ano anterior; os dados disponíveis em 2008 indicam um aumento de produção de 9,3%; a taxa média de crescimento da produção de polpa celulósica no Brasil é de 7,6% ao ano, o que mostra a importância deste setor na economia brasileira e no panorama global de celulose e papel, que cresce em média 3,0% ao ano. Do total da produção brasileira de polpa celulósica, 10,0 milhões de toneladas (83,4%) correspondem a polpa de eucalipto, que por sua vez corresponde a 69,8% da produção mundial deste tipo de polpa celulósica.

Todo esse sucesso do setor celulósico-papeleiro tem sido atribuído em grande parte ao sucesso das plantações florestais que oferecem excelentes incrementos em produção de madeira a baixos e competitivos custos. A cadeia produtiva da celulose e papel é relativamente complexa, mas seu ponto inicial de competitividade é a produção de madeira.

Além das espécies do gênero *Eucalyptus*, madeiras folhosas de outros gêneros e espécies são utilizadas em outros países como fonte de matéria-prima para produção de polpa celulósica de fibra curta como espécies do gênero *Populus*, *Betula* e *Acacia* entre outros. Entre as espécies dos gêneros citados, as de *Acacia* tem se destacado como importante fonte de fibras curtas para indústria papeleira; neste particular, a Indonésia se destaca como o principal país produtor de polpa de fibra curta a partir de *Acacia*, tendo esta polpa boa aceitação no mercado mundial.

As espécies do gênero *Acacia* se revelam de grande interesse para o setor celulósico-papeleiro nacional uma vez que as condições edafo-climáticas brasileiras favorecem o bom crescimento de espécies deste gênero. No Brasil existem alguns

plantios comerciais na região sul do país onde predomina a *Acacia mearnsii* e na região norte onde estão sendo implantadas florestas com *Acacia mangium*.

Para o setor celulósico brasileiro a utilização de espécies do gênero *Acacia* para produção de polpa celulósica representa uma ampliação de possibilidades silviculturais e de utilização industrial devido à variabilidade de qualidades de madeira que podem ser orientadas para nichos de mercado mais personalizados, muito mais interessantes que uma orientação apenas para produtos tipo “commodities”.

A necessidade de novas pesquisas na busca de materiais geneticamente superiores em termos de rendimento e qualidade de produção de celulose é primordial para a manutenção do sucesso do setor celulósico-papeleiro brasileiro. Neste contexto, a utilização de espécies do gênero *Acacia* para produção de polpa celulósica de fibra curta pode ser encarada tanto como uma ameaça, como uma oportunidade.

Diante dos aspectos mencionados, esta pesquisa teve por objetivo avaliar e comparar as características da madeira de diferentes materiais genéticos das espécies de *Acacia aulacocarpa*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa* e *Acacia mangium* e da polpa celulósica resultante. O enfoque priorizará o estudo de características anatômicas, físicas e químicas da madeira e suas correlações com as características da celulose produzida, bem como o estabelecimento dos principais parâmetros cinéticos de deslignificação kraft para madeiras do gênero *Acacia*.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 O Gênero *Acacia*

Espécies do gênero *Acacia* ocorrem naturalmente na região costeira da Austrália (DORAN et al., 1982), Papua Nova Guiné, Indonésia, Ilhas de Java e Moluccas, entre as latitudes de 1 a 18 °S, em altitudes que vão desde o nível do mar até 800 m (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 1983).

Segundo Turnbull (1986), as regiões de ocorrência natural do gênero *Acacia* são caracterizadas por clima úmido e quente com temperatura média anual de 19° C, temperatura máxima de 32° C e precipitação média anual variando de 1.500 a 3.000 mm, bem distribuída ao longo do ano.

O gênero *Acacia* está incluído na família *Leguminosae*, subfamília *Mimosoideae*. A família *Leguminosae* é uma das maiores dentre as dicotiledôneas, compreendendo mais de 13.000 espécies reunidas em mais de 600 gêneros (Joly, 1998). A subfamília *Mimosoideae*, encontra-se distribuída nas regiões tropicais, subtropicais e cálido-temperadas, com 50 a 60 gêneros que englobam aproximadamente 2.800 espécies, em sua maioria pertencentes aos gêneros *Acacia*, *Mimosa* e *Inga* (BARROSO, 1991).

O gênero *Acacia* é um dos maiores nas Angiospermas (ENDRESS, 1994), apresentando mais de 1.200 espécies (BARROSO, 1991; MARCHIORI, 1996); encontram-se como árvores, arbustos ou trepadeiras lenhosas (BURKART, 1979).

Segundo Maslin (2002) e citado por Martinez (2006), o panorama de plantio das espécies do gênero *Acacia* australianas abrangem aproximadamente 70 países, ocupando uma área aproximada de 2 milhões de hectares, sendo: *Acacia mearnsii* com cerca de 300.000 ha plantados na África do Sul, Brasil, China e Vietnã (tendo como destino a produção de tanino, carvão e lenha). *Acacia saligna*, tendo plantado mais de 500.00 ha localizados no norte da África, Oriente Médio, Ásia Ocidental e Chile (tendo o propósito de uso para energia, forragem e recuperação do solo); a espécie *Acacia mangium* ocupa uma área superior a 800.000 ha plantadas na Indonésia e Malásia (para a produção de polpa celulósica e madeira); *Acacia crassicarpa*, tem

aproximadamente 50.000 ha na Indonésia e Vietnã (cultivada para uso em polpa celulósica e madeira), incluindo outras espécies sendo difundidas inicialmente.

Atribui-se ao gênero *Acacia* a capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras (FRANCO et al., 1994; DIAS et al. 1994; FORTES, 2000; ANDRADE et al., 2000), destacando-se em programas de recuperação de áreas degradadas, principalmente a espécie *A. mangium* Willd (DIAS et al., 1994; FRANCO; FARIA, 1997). Sua ampla capacidade de adaptação advinda de características como rápido crescimento, baixo requerimento nutricional, tolerância à acidez do solo, compactação e a elevada taxa de fixação de nitrogênio, quando em simbiose com bactérias diazotróficas (FARIA et al., 1996; COLE et al., 1996; BALIEIRO et al., 2004), resultam em produções elevadas de biomassa e entrada de nutrientes, via serrapilheira, em áreas degradadas (BALIEIRO et al., 2004), podendo favorecer a sucessão vegetal nessas áreas (CAMPELLO, 1998).

Além da associação micorrízica, as leguminosas arbóreas ainda apresentam outras características que favorecem a sua utilização na recuperação de áreas degradadas, sendo estes atributos escritos por Campello (1998) como: o rápido estágio de muda no viveiro, disponibilidade de sementes e ciclo de desenvolvimento curto, permitindo o ingresso de outras espécies em sucessão florestal.

As espécies arbóreas de rápido crescimento que apresentam o potencial para recuperação de áreas degradadas como *Acacia*, oferecem a proteção do solo e a capacidade de deposição de material orgânica, a qualidade deste material assim como a formação de manta orgânica, apoiadas em sistemas radiculares mais profundos e eficientes em buscar nutrientes não disponíveis para outras plantas, são atributos favoráveis em árvores empregadas em programas de recuperação de áreas degradadas, incluindo a estas habilidades podem ser associadas com a capacidade de fixar nitrogênio (FONSECA, 2005).

2. 1. 2 A *Acacia* como matéria-prima da indústria de celulose e papel

O consumo de *Acacia* na indústria de celulose e papel brasileira é ainda restrito, bem como são poucos os estudos que comparam o uso dessa matéria-prima com

madeiras do gênero *Eucalyptus*, já consagrada como importante fonte de fibra curta para a produção de celulose kraft branqueada.

Em estudos sobre o potencial das espécies do gênero *Acacia* como fornecedora de madeira para produção de polpa celulósica realizado por Clark et al. (1991), onde se avaliou o desempenho de 13 espécies nativas da Austrália (apresentadas na tabela 1) e estas foram comparadas com *A. mangium* (da Malásia), *A. auriculiformis* (da Papua Nova Guiné) e rebrotas de *Eucalyptus* (da Austrália), pode-se constatar que as acácias tiveram rendimento da polpa celulósica dentro da escala de polpas comerciais e um bom nível de deslignificação (tabela 1). Somente as madeiras de espécies de acácias de alta densidade básica como *A. crassicarpa*, *A. flavescens* e *A. leucoclada* tiveram rendimento de polpação inferior a 50%.

Tabela 1 - Propriedades da madeira e da polpa kraft de acácias australianas

Espécie	Densidade básica (g/cm³)	Álcali Ativo (%Na₂O)	Rendimen to depurado (%)	Teor de rejeito (%)	Nº kappa
<i>A. aulacocarpa</i>	0,598	13,25	55,4	0,6	19,3
<i>A. cincinnata</i>	0,580	13,75	53,1	1,3	20,6
<i>A. crassicarpa</i>	0,638	17,5	47,2	0,2	20,3
<i>A. flavescens</i>	0,768	15,0	46,0	1,2	21,0
<i>A. melanoxylon</i>	0,487	12,5	52,2	1,7	20,5
<i>A. mangium</i>	0,420	14,0	52,3	0,1	21,0
<i>A. auriculiformis</i>	0,516	13,0	53,1	-	19,3
<i>A. dealbata</i>	0,553	13,5	52,8	0,7	20,7
<i>A. decurrens</i>	0,457	15,0	55,9	-	18,7
<i>A. elata</i>	0,520	13,0	55,1	1,3	24,0
<i>A. leuoclada</i>	0,626	14,0	48,6	0,9	24,4
<i>A. mearnsii</i>	0,608	13,0	52,8	1,6	20,0
<i>A. melanoxlon</i>	0,502	12,0	55,0	1,5	19,9
<i>A. parramattensis</i>	0,606	13,0	51,6	2,8	21,9
<i>A. silvsetris</i>	0,551	13,0	53,3	1,6	20,3
Rebrota de Eucalyptus	0,585	11,5	53,7	0,3	21,2

O setor de produção de polpa celulósica da Indonésia passou por grandes modificações nas suas fontes de matéria-prima nos últimos 20 anos, sendo que inicialmente a matéria-prima usada era um grande número de folhosas tropicais, entre

65 a 80 espécies diferentes. Na década de 90, empresas como a PT KIANI KERTA passaram a produzir polpas utilizando apenas as espécies de *Acacia mangium* (80%) e *Gmelina arborea Roxb.* (20%) e com obtenção de uma ótima uniformidade da polpa celulósica. Em 2000, a empresa PT TEL também na Indonésia, passou a utilizar 100% da espécie *Acacia mangium* para produção de polpa celulósica; esta polpa teve uma rápida aceitação pelos produtores de papéis de baixa gramatura, papéis bíblia, papéis finos e opacos para impressão e outros papéis que requerem baixo volume específico e alta opacidade. Estas associações de propriedades não usuais são de grande valor para certas fábricas produtoras de papéis específicos (HILLMAN, 2002).

Estudos realizados por Logan (1987), caracterizam a madeira de *A. auriculiformis* como adequada para serviços de construção, torneamento, mobiliário e escultura; árvores cultivadas desta espécie têm-se mostrado promissoras na produção de celulose semiquímica de sulfito neutro de alta qualidade para produtos corrugados de médio e alto grau para empacotamento.

Em estudos realizados por Hannah et al. (1977), onde se analisou três espécies de *Eucalyptus* de rápido crescimento, *E. fastigata*, *E. regnans* e *E. nitens*, e duas espécies de *Acacia*, *A. decurrens* e *A. mollissima*, todas usando o processo kraft de cozimento e branqueadas pela seqüência D/C-E-H-D, verificaram que: todas as espécies estudadas produziram polpas com rendimentos depurados altos e número kappa igual a 20; as polpas eram facilmente branqueadas alcançando altos níveis de alvura; as polpas branqueadas de *Eucalyptus* e *A. decurrens* demonstraram significantes mudanças de propriedades com pequenas energias fornecidas no processo de refino; a *A. mollissima* apresentou maior dificuldade de refino. Com os resultados apresentados, os autores concluíram que tanto as espécies de *Acacia* como as de *Eucalyptus* testadas seriam adequadas à produção de polpas para confecção da maioria dos papéis finos encontrados no mercado.

Martins (1983), trabalhando com *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna* com três diferentes condições de cozimento (14, 15,5 e 17% de álcali ativo e 160, 165 e 170° C, respectivamente), conclui que a *Acacia mearnsii* constitui-se como matéria-prima de boa qualidade para a produção de polpa celulósica kraft, com altos rendimentos e propriedades físico-mecânicas e óticas adequadas; este autor observou que a madeira

de *Acacia mearnsii* apresentou maiores teores de holocelulose e menores teores de lignina em comparação ao *Eucalyptus saligna*.

Estudando *Acacia crassicarpa*, Clark et al. (1991) verificou que essa espécie produz aproximadamente 301 kg de polpa por metro cúbico de madeira, apresenta fibras com comprimento médio de 0,83 mm e sua polpa pode ser utilizada para a fabricação de papéis para impressão e escrita.

Os aspectos mencionados anteriormente são indicativos que de a madeira de algumas espécies do gênero *Acacia* são potenciais matérias-primas para a produção de polpa celulósica. Sob esta ótica, este trabalho teve por objetivo avaliar e comparar a qualidade da madeira de diferentes espécies do gênero *Acacia* plantados no Brasil visando à produção de polpa celulósica.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Material

Para a realização deste trabalho foram utilizadas árvores oriundas de plantios florestais com 5 anos de idade existentes na Estação Experimental de Anhembi do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, localizado no município de Anhembi – SP.

Os materiais genéticos coletados correspondem:

- *Acacia aulacocarpa* – 2 materiais genéticos;
- *Acacia auriculiformis* – 3 materiais genéticos;
- *Acacia crassicarpa* – 2 materiais genéticos;
- *Acacia mangium* – 4 materiais genéticos.

Cada um dos materiais genéticos foi considerado um tratamento, totalizando 11 tratamentos.

A Estação localiza-se no município de Anhembi – SP, latitude 22° 43' S e longitude 48° 09'W, altitude de 500 m. A temperatura média anual é de 21,0° C, sendo a média do mês mais frio de 17,1° C, e a do mês mais quente 23,7° C. A precipitação média anual é de 1.350 mm com déficit hídrico anual de 20 mm. Clima caracterizado

como Cwa (mesotérmico) segundo Koppen, com verões quentes e chuvosos, invernos moderadamente frios e secos, tendo raras ocorrências de geadas. O relevo é plano à suave ondulado com solo Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico textura média (EMBRAPA. 1999).

O espaçamento adotado para as quatro espécies do gênero de *Acacia* foi de 3,00 x 1,90 metros. A forma de propagação foi por sementes.

2.2.1.1 Origem do material genético

As sementes, originárias encaminhadas ao Brasil, foram coletadas pelo Dr. David Kleinig – Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation (CSIRO), nas regiões de Atherton – QLD – Austrália e Papua New Guinea - (PNG). A tabela 2 apresenta mais informações sobre a coleta de sementes, que foram então usadas para a implantação da População Base A-15D-172 da Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi (E. E. C. F. A.).

Tabela 2 - Caracterização das matrizes genéticas

Espécie	Procedência	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
<i>Acacia aulacocarpa</i> (1)	Kuranda	QLD	16°40' S	145°31' E	460
<i>Acacia aulacocarpa</i> (2)	Bimadebun WP	PNG	08°38' S	142°03' E	40
<i>Acacia auriculiformis</i> (1)	Morehead River	QLD	15°02' S	143°40' E	50
<i>Acacia auriculiformis</i> (2)	Wenlock R Rocky Creek	QLD	12°47' S	142°49' E	100
<i>Acacia auriculiformis</i> (3)	Bensbach	PNG	08°53' S	141°17' E	25
<i>Acacia crassicarpa</i> (1)	Keru	PNG	08°36' S	141°44' E	25
<i>Acacia crassicarpa</i> (2)	Jarine River - Bamaga	QLD	11°02' S	142°22' E	20
<i>Acacia mangium</i> (1)	Balimo	PNG	08°05' S	142°58' E	15
<i>Acacia mangium</i> (2)	Kuranda	QLD	16°44' S	145°30' E	390
<i>Acacia mangium</i> (3)	Inhambuque	BA			
<i>Acacia mangium</i> (4)	Mossman	QLD	16°28' S	145°22' E	7

2.2.1 Amostragem

Para cada material genético (tratamento), foram coletadas 5 árvores, amostradas ao acaso, com diâmetro médio do povoamento (obtido a partir de inventário florestal) e apresentando estado fitossanitário normal.

De cada árvore selecionada, foram retirados discos de aproximadamente 2,5 cm de espessura na base, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (diâmetro de 6 cm), totalizando 5 discos por árvore e 25 discos por tratamento. O material foi devidamente identificado, separado e armazenado por árvore. Os discos amostrados foram utilizados para a determinação da densidade básica.

No intervalo entre os discos, (base, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial) foi retirado 1 torete de 1 m de comprimento, totalizando 4 toretes por árvore. Os toretes foram devidamente identificados, separados por árvore e transformados em cavacos utilizando-se um picador semi-industrial. Após a picagem, os materiais foram classificados por espessura em peneiras de barra, sendo selecionados os cavacos que passaram pela peneira de 6 mm e retidos na peneira de 4mm. Os cavacos foram secos ao ar e armazenados em sacos de polietileno, devidamente identificados.

Apresenta-se na figura 1 o picador semi-industrial utilizado para a picagem dos toretes.



Figura 1 – Picador semi-industrial utilizado para picagem dos toretes

Para avaliação da qualidade da madeira dos materiais considerados neste trabalho, cada árvore foi analisada individualmente, representando uma repetição.

2.2.2 Métodos

2.2.2.1 Densidade básica da madeira

Para determinação da densidade básica da madeira foi utilizado método da balança hidrostática.

Cada disco destinado à determinação de densidade teve, inicialmente, o seu diâmetro com e sem casca medido (duas medições ortogonais, sendo o diâmetro reportado como a médias destas determinações); após esta etapa os discos foram subdivididos em 4 cunhas, sendo utilizadas 2 partes opostas, para a determinação de densidade básica, conforme representado na figura 2.

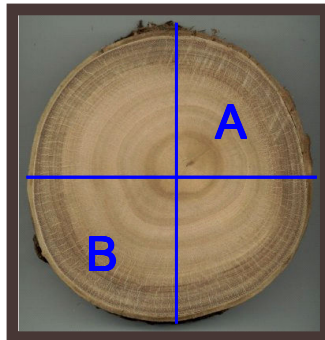


Figura 2 – Amostragem de discos para densidade básica

A densidade da madeira foi determinada pela expressão:

$$\text{Densidade Básica da Madeira (Dbm)} - \text{g/cm}^3 = \left[\frac{PSM}{PUM - PIM} \right]$$

Onde:

PSM – peso seco de madeira

PUM – peso úmido de madeira

PIM – peso imerso de madeira

As médias ponderadas da densidade básica da madeira das árvores foram determinadas pela expressão:

$$Dbp = \frac{1}{2} \frac{(D^2_{B} + D^2_{25\%})(d_B + d_{25\%}) + (D_{25\%} + D_{50\%})(d_{25\%} + d_{50\%}) + (D_{50\%} + D_{75\%})(d_{50\%} + d_{75\%}) + (D^2_{75\%} + D^2_{100\%})(d_{75\%} + d_{100\%})}{D^2_{B} + D^2_{100\%} + 2(D^2_{25\%} + D^2_{50\%} + D^2_{75\%})}$$

Onde:

- $D_{(base)}$, $D_{(25\%)}$, $D_{(50\%)}$, $D_{(75\%)}$ e $D_{(100\%)}$ - diâmetro dos discos em diferentes alturas com casca e sem casca;
- $d_{(base)}$, $d_{(25\%)}$, $d_{(50\%)}$, $d_{(75\%)}$ e $d_{(100\%)}$, densidade básica a diferentes alturas.

Para cada árvore foi calculado o Índice de Heterogeneidade para densidade básica da madeira que procura expressar a variabilidade da densidade no sentido longitudinal, a partir das densidades obtidas dos discos (BARRICHELO; BRITO, 1984). Segundo os autores, a variação é tanto mais significativa quanto mais próxima estiverem os pontos de amostragem e quanto mais na parte inferior da árvore, considerando-se o fator de forma típico de árvores – tronco de cone. Assim estipula-se, arbitrariamente, peso 4 para a diferença de densidade entre a base e 25% da altura, peso 3 para a diferença entre valor da base e 50% da altura, peso 2 para a diferença entre valor da base e 75% da altura, peso 1 para a diferença entre valor da base e 100% da altura comercial.

O índice de heterogeneidade para densidade básica (IH) é expresso pela equação:

$$IH = (|A-B| \times 4) + (|A-C| \times 3) + (|A-D| \times 2) + (|A-E|) + (|B-C| \times 3) + (|B-D| \times 2) + (|B-E|) + (|C-D| \times 2) + (|C-E|) + (|D-E|)$$

Onde :

- A = densidade básica da madeira - base;
- B = densidade básica da madeira - 25%;
- C = densidade básica da madeira - 50%;
- D = densidade básica da madeira - 75%;
- E = densidade básica da madeira - 100%

2.2.2.2 Caracterização anatômica da madeira

Dos cavacos de cada árvore foi retirada uma sub-amostra para maceração pelo processo nítrico-acético, o qual se constitui em submeter o material dissolvido a um tratamento com solução de ácido acético, ácido nítrico e água (5:2:1) aquecida em banho-maria a 100° C por um período de tempo suficiente para que as fibras fossem individualizadas. Após o término do tratamento, o material foi lavado em água destilada.

Com o material dissociado foram montadas 10 lâminas para cada material e medidas um total de 100 fibras (10 fibras/lâmina) sendo determinadas as seguintes dimensões: comprimento (C), largura (L), espessura de paredes (E) e diâmetro do lume (DL). Os resultados foram apresentados como sendo a média aritmética das 100 medições que foram efetuadas para cada dimensão medida.

A partir das médias das dimensões de fibra foram calculadas as seguintes relações:

Fração parede (FP): relação percentual entre duas vezes a espessura da parede celular e a largura da fibra. A partir das médias das dimensões de fibra foram calculadas as seguintes relações:

$$FP = \left(\frac{2e}{D} \right)$$

Coeficiente de flexibilidade (CF): relação percentual entre o diâmetro do lume e a largura da fibra.

$$CF = \left(\frac{DL}{L} \right) \times 100$$

Índice de Runkel (IR): relação entre duas vezes à espessura da parede celular e o diâmetro do lume.

$$IR = \left(\frac{2e}{DL} \right)$$

Onde:

- C = comprimento da fibra;
- e = espessura da parede;
- L = largura da fibra;
- DL = diâmetro do lume.

2.2.2.3 Composição química

A partir dos cavacos obtidos de cada árvore, foi obtida uma sub-amostra sendo esta processada em moinho de facas visando à obtenção de material para determinações químicas conforme metodologia TAPPI T 264 cm-97.

Para cada material foram determinados o teor de extrativos totais (ABTCP M 3/69) e o teor de lignina klason (TAPPI T 222 om-98); o teor de holocelulose (H) foi obtido por diferença segundo a expressão:

$$H(\%) = 100 - (\text{teor de lignina} + \text{teor de extrativos totais})$$

2.2.2.4 Desempenho frente ao processo de polpação Kraft

Para realização dos cozimentos kraft, foi utilizado uma autoclave rotativa com capacidade para 20 litros com 8 cápsulas de aço inoxidável com capacidade para 80 g de cavacos absolutamente secos. Para a realização dos cozimentos foram utilizados cavacos com espessura entre 2 e 5 mm sem nós, anomalias ou casca.

As condições de cozimento foram:

Álcali Ativo (como NaOH).....	18,0; 19,5; 21,0; 22,5; 24,0; 25,5%
Sulfidez.....	25%
Temperatura máxima.....	166°C
Tempo de aquecimento.....	80 min
Tempo de cozimento	60 min
Relação Licor/Madeira.....	4:1(l/kg)

2.2.2.5 Lavagem e Depuração

Ao final de cada cozimento, os cavacos obtidos foram lavados exaustivamente com água corrente à temperatura ambiente em caixa com fundo de tela em aço inox de 150 mesh. Após a lavagem, as fibras foram individualizadas em desintegrador laboratorial.

Visando a remoção e quantificação de rejeitos as polpas obtidas em cada cozimento foram depuradas em depurador laboratorial com tela com fendas de 0,2 mm. Os rejeitos foram coletados e secos em estufa a $105 \pm 3^\circ \text{C}$ até peso constante.

Após lavagem, desfibramento e depuração as polpas foram centrifugadas e acondicionadas em sacos de polietileno e armazenada em câmara fria para análises posteriores; estas análises encontram-se descritas na tabela 3.

2.2.2.5 Parâmetros determinados em cada cozimento

Na tabela 3 são apresentados os parâmetros do processo de polpação determinados para cada cozimento.

Tabela 3 - Parâmetros do processo de polpação e as respectivas normas

Parâmetro	Norma
Rendimento bruto	Relação entre peso a.s. de celulose e peso a.s. de madeira
Rendimento depurado	Relação entre peso a.s. de celulose depurada e peso a.s. de madeira
Teor de rejeitos	Relação entre peso a.s. de rejeitos (material retido em peneira com fenda de 0,2mm de depurador laboratorial) e peso a.s. de madeira
Número kappa	Tappi Methods – T236cm-85

2.2.2.6 Delineamento experimental e análise estatística

Os parâmetros de caracterização dos materiais utilizados neste trabalho foram analisados estatisticamente através de Análise de Variância (ANOVA); quando a Análise de Variância detectou diferença estatística a nível de 5% entre os materiais em questão, realizou-se o teste de Tukey ou ajuste de modelo de regressão polinomial ou linear.

2.3 Resultados e discussão

Na avaliação de matérias-primas destinadas à produção de polpa celulósica, além das características tecnológicas da madeira, o desenvolvimento silvicultural é de grande importância uma vez que o mesmo tem impacto direto sobre o custo de produção florestal, área de efetivo plantio e outros parâmetros.

Na tabela 4 são apresentados os principais dados de inventário florestal para os materiais genéticos (tratamentos) considerados neste trabalho.

Tabela 4 - Características silviculturais dos materiais (tratamentos) considerados neste trabalho

Espécies	IMA	DAP médio (cm)	Altura média (m)	Volume (m³/ha)
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	26,24	14,3	10,7	131,2
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	24,50	12,2	11,5	122,5
<i>A. auriculiformis</i> (1)	28,16	11,8	13,8	140,8
<i>A. auriculiformis</i> (2)	26,14	12,0	12,2	130,7
<i>A. auriculiformis</i> (3)	24,42	11,6	11,6	122,1
<i>A. crassicarpa</i> (1)	36,66	14,3	13,4	183,3
<i>A. crassicarpa</i> (2)	20,24	11,2	11,6	101,2
<i>A. mangium</i> (1)	41,92	14,0	16,4	209,6
<i>A. mangium</i> (2)	40,64	13,9	14,4	203,2
<i>A. mangium</i> (3)	31,26	13,3	13,5	156,3
<i>A. mangium</i> (4)	26,94	12,2	13,0	134,7

Na avaliação de processos de polpação é de fundamental importância que se conheça as principais características tecnológicas da matéria-prima que se está utilizando. Estas características podem ser divididas em dois grandes grupos: características intrínsecas do material e características de processo.

As características intrínsecas da matéria-prima estão relacionadas à própria produção e formação do material podendo-se destacar:

- densidade básica
- composição química
 - teor de lignina
 - teor de extrativos totais
 - teor de holocelulose

- dimensões de fibras
 - comprimento
 - largura
 - espessura da parede celular
 - diâmetro do lume

Já em relação às características do material devido ao processo, estas dizem respeito à preparação da madeira para o processo de polpação e dependem, além das características intrínsecas do material, da tecnologia e das condições operacionais empregadas. Entre as características do material relacionados ao processo, merecem destaque as dimensões dos cavacos (comprimento, largura e espessura), pois estes influenciam de forma determinante o desempenho da madeira frente ao processo de polpação kraft.

2.3.1 Densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira é definida como a relação entre o peso absolutamente seco e o volume saturado da madeira, sendo a mesma de fundamental importância para o processo de polpação, tendo em vista o aspecto econômico relacionado ao consumo específico de madeira, influência sobre as variáveis do processo de produção de polpa celulósica e características da polpa celulósica (ALMEIDA, 2003).

Para a indústria de celulose e papel, várias considerações podem ser feitas em torno da densidade básica. A velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento e conseqüentemente ritmo de deslignificação são influenciadas pela densidade. Espera-se que dentro de uma mesma espécie, madeiras de menor densidade sejam mais facilmente deslignificadas, bem como possa indicar o comportamento de algumas propriedades físico-mecânicas da polpa resultante.

A densidade básica da madeira pode ser considerada com um elo entre atividade florestal e as atividades industriais relacionadas à produção de polpa celulósica, pois permite a utilização dos dados de inventário florestais, normalmente expressos em volume, no balanço de massa e estimativas de capacidade de produção de polpa celulósica considerando-se as especificidades de cada unidade industrial. Os

resultados das análises de densidade básica da madeira das espécies consideradas neste trabalho são apresentados a seguir.

Foram considerados dois materiais genéticos de *A. aulacocarpa*, os quais foram designados como (1) e (2). Na tabela 5 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de *A. aulacocarpa* (1).

Tabela 5 - Densidade básica da madeira de *Acacia aulacocarpa* (1) e índice de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,619	0,522	0,560	0,484	0,398	0,536	1,77
2	0,576	0,476	0,531	0,477	0,443	0,508	1,30
3	0,711	0,598	0,523	0,463	0,470	0,596	2,55
4	0,525	0,351	0,298	0,435	0,439	0,396	2,48
5	0,473	0,415	0,417	0,342	0,334	0,418	1,27
MÉDIA	0,581	0,473	0,466	0,440	0,417	0,491	1,87
DP	0,091	0,095	0,108	0,058	0,053	0,083	0,62
CV(%)	15,66	20,16	23,27	13,17	12,67	16,94	33,06

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Os resultados apresentados na tabela 5 mostram que a madeira de *A. aulacocarpa* (1) apresenta densidade básica média de $0,491\text{g/cm}^3$. O coeficiente de variação observado para a densidade básica da madeira nas diferentes alturas pode ser considerado alto, indicando elevada variabilidade genética no material de onde foram coletadas as sementes para o plantio do material em questão. Os resultados mostram uma elevada densidade básica da madeira na base e sua gradativa redução ao longo da altura do fuste. Os resultados apresentados na tabela 6 foram analisados estatisticamente visando determinar se existe diferença estatística para densidade básica da madeira nas diferentes alturas consideradas.

A tabela 6 apresenta a análise de variância e teste F para variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Acacia aulacocarpa* (1).

Tabela 6 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia aulacocarpa* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Altura	4	0,079415	0,0198539	2,81	0,0529
Erro	20	0,141066	0,00705332		
<i>Total</i>	24	0,220482			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

O resultado da análise de variância para densidade básica da madeira de *A. aulacocarpa* (1) ao longo do fuste indica que não existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade; este resultado pode ter como explicação o elevado coeficiente de variação da densidade básica da madeira.

Na avaliação da qualidade da madeira utilizada no processamento industrial, especialmente na produção de polpa celulósica, é desejável que o material seja o mais homogêneo possível no que diz respeito às suas características. A determinação do grau de homogeneidade é complexa; por este motivo adotou-se neste trabalho o índice de heterogeneidade. Os resultados apresentados na tabela 5 mostram que as árvores de *A. aulacocarpa* (1) apresentam índices de heterogeneidade bastante distintos e conseqüentemente um elevado coeficiente de variação. Deve-se destacar que quanto menor o índice de heterogeneidade, menos heterogênea é a árvore no que diz respeito a densidade básica.

Na tabela 7 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de *A. aulacocarpa* (2).

Tabela 7 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia aulacocarpa* (2) e índices de heterogeneidade.

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,584	0,462	0,475	0,405	0,409	0,476	1,76
2	0,564	0,388	0,355	0,356	0,365	0,429	2,15
3	0,609	0,397	0,328	0,387	0,436	0,437	2,85
4	0,616	0,467	0,475	0,394	0,406	0,483	2,15
5	0,566	0,471	0,379	0,353	0,402	0,443	2,24
MÉDIA	0,588	0,437	0,403	0,379	0,404	0,454	2,23
DP	0,024	0,041	0,068	0,023	0,026	0,024	0,39
CV(%)	4,06	9,35	17,01	6,16	6,33	5,33	17,63

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Os resultados apresentados na tabela 7 mostram que a madeira de *A. aulacocarpa* (2) apresenta densidade básica média de 0,454g/cm³; este valor é inferior ao da madeira de *A. aulacocarpa* (1) e mostra a variabilidade entre diferentes materiais genéticos da mesma espécie, o que por sua vez aponta para a possibilidade de ações focadas no melhoramento genético destes materiais.

O coeficiente de variação para da densidade básica, tanto a média ponderada, quando a densidade básica média nas diferentes alturas é significativamente mais baixo que os observados para *A. aulacocarpa* (1). Os dados de densidade básica nas diferentes alturas foram submetidos à análise de variância para verificar se existe diferença estatística para este parâmetro entre as diferentes alturas amostradas.

Tabela 8 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia aulacocarpa* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Altura	4	0,141472	0,0353679	21,70	0,0000
Erro	20	0,0326012	0,00163006		
Total	24	0,174073			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr= probabilidade de F significativo

A análise de variância para densidade básica da madeira de *A. aulacocarpa* (2) nas diferentes alturas consideradas neste trabalho mostra que existe diferença estatística entre as alturas; considerando-se estes resultados realizou-se análise de regressão polinomial para densidade básica em função da altura e o modelo matemático que apresentou melhor ajuste foi a de raiz quadrada. Os coeficientes de ajuste do modelo matemático encontram-se apresentados na tabela 27 que reúne os modelos de variação longitudinal de densidade básica de todos os materiais considerados neste trabalho.

Com o objetivo de ilustrar o modelo de variação longitudinal da densidade básica da madeira de *A. aulacocarpa* (2) os dados médios e o modelo ajustado foram plotados em gráfico (figura 3).

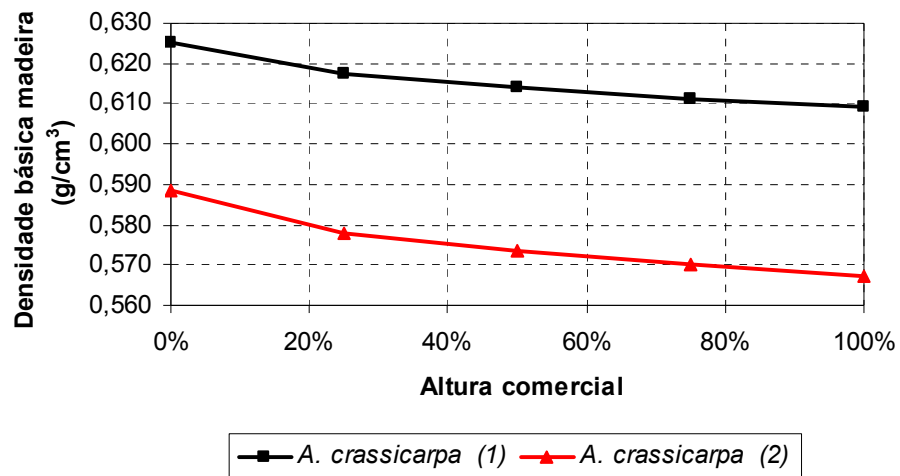


Figura 3 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de *Acacia aulacocarpa* (2)

O gráfico apresentado na figura 3 mostra que a madeira da base das árvores de *A. aulacocarpa* (2) apresenta densidade básica superior as demais alturas e que a partir de 25% da altura comercial, a densidade básica e sua variação são menores. Considerando-se a elevada densidade básica da madeira somente na região da base da árvore de *A. aulacocarpa* e a menor variação deste parâmetro em alturas superiores a 25% da altura comercial, pode-se inferir que a segregação das toras da região da base da árvore no momento da colheita florestal pode contribuir para uma maior homogeneidade da madeira destinada à produção de polpa celulósica; adicionalmente a madeira da base da árvore poderia ser destinada a geração de energia, seja como biomassa, seja como matéria-prima para produção de carvão vegetal. Estas possibilidades de utilização da madeira de *Acacia aulacocarpa*, representam uma maximização da utilização do potencial tecnológica desta espécie.

Os resultados de densidade básica da madeira apresentados nas tabelas 9, 11 e 13 representam os materiais genéticos de *Acacia auriculiformis*, identificados respectivamente como sendo (1), (2) e (3).

Tabela 9 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia auriculiformis* (1) e índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,578	0,472	0,456	0,496	0,425	0,490	1,43
2	0,576	0,435	0,455	0,420	0,460	0,467	1,59
3	0,586	0,473	0,434	0,414	0,461	0,482	1,73
4	0,641	0,461	0,510	0,506	0,435	0,512	2,01
5	0,610	0,483	0,447	0,475	0,425	0,488	1,76
MÉDIA	0,598	0,465	0,460	0,462	0,441	0,488	1,70
DP	0,027	0,018	0,029	0,043	0,018	0,016	0,21
CV(%)	4,59	3,98	6,27	9,24	4,07	3,37	12,54

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Os resultados apresentados da tabela 8 mostram que a madeira de *Acacia auriculiformis* (1) apresenta densidade básica média de 0,488 g/cm³. O coeficiente de variação da densidade básica, neste caso pode ser considerado baixo e denotar a homogeneidade do material sendo um indicativo de um bom trabalho de manejo florestal. Observa-se a variação da densidade básica no sentido longitudinal da árvore, onde a densidade básica tende de ser elevada na base da árvore, diminuindo a 25% da altura comercial e mantendo este decréscimo até atingir 100% da altura comercial. São apresentados na tabela 9 a análise de variância e teste F para variação longitudinal da densidade básica da madeira *Acacia auriculiformis* (1).

Tabela 10 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia auriculiformis* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,0813254	0,0203313	24,80	0,0000
Dentro do grupo	20	0,0163964	0,00081982		
Total (corrigido)	24	0,0977218			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância para densidade básica da madeira de *Acacia auriculiformis* (1) mostra que existe diferença estatística entre as alturas. Estabeleceu-se análise de regressão polinomial para densidade básica em função da altura e adotou-se o modelo matemático de raiz quadrada por ser de melhor ajuste (tabela 27).

Os resultados de densidade básica da madeira de *Acacia auriculiformis* (2) estão expostos na tabela 10.

Tabela 11 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia auriculiformis* (2) e índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,619	0,455	0,437	0,474	0,440	0,489	1,89
2	0,630	0,492	0,472	0,511	0,525	0,516	1,65
3	0,660	0,546	0,472	0,489	0,532	0,539	1,98
4	0,624	0,475	0,487	0,444	0,431	0,499	1,86
5	0,632	0,480	0,483	0,482	0,458	0,520	1,62
MÉDIA	0,633	0,490	0,470	0,480	0,478	0,513	1,80
DP	0,016	0,034	0,020	0,024	0,048	0,019	0,16
CV(%)	2,53	6,97	4,19	5,09	10,01	3,73	8,76

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Observa-se que a madeira de *Acacia auriculiformis* (2) apresenta densidade básica média de 0,513 g/cm³; estes valores são condizentes com os dados apresentados por Vale et al. (1999), para madeira de *Acacia mangium* aos sete anos de idade que apresentou densidade básica média de 0,524 g/cm³. Os dados de densidade básica nas diferentes alturas foram submetidos à análise de variância para verificar se existe diferença estatística para este parâmetro entre as diferentes alturas amostras.

Tabela 12 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia auriculiformis* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,0955252	0,0238813	25,39	0,0000
Dentro do grupo	20	0,0188128	0,0009406		
Total (corrigido)	24	0,114338			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Na tabela 13 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de *Acacia Auriculiformis* (3).

Tabela 13 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia auriculiformis* (3) e índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,698	0,553	0,543	0,571	0,539	0,592	1,63
2	0,624	0,449	0,455	0,471	0,464	0,494	1,80
3	0,649	0,517	0,497	0,501	0,527	0,533	1,57
4	0,633	0,489	0,503	0,446	0,413	0,512	2,00
5	0,618	0,486	0,442	0,444	0,451	0,494	1,85
MÉDIA	0,644	0,499	0,488	0,487	0,479	0,525	1,77
DP	0,032	0,039	0,041	0,052	0,053	0,041	0,17
CV(%)	4,97	7,78	8,31	10,76	11,07	7,75	9,78

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Nota-se pelos resultados obtidos de densidade básica média para a madeira de *Acacia Auriculiformis* (3) que: o valor foi de $0,525 \text{ g/cm}^3$ sendo este o valor mais elevado quando comparados às procedências de *Acacia auriculiformis* (1 e 2). A variabilidade entre os diferentes materiais genéticos da mesma espécie neste caso não foi tão acentuado. Verifica-se, também, que o intervalo de variação da densidade básica no sentido base-topo é maior para *Acacia Auriculiformis* (3), indicando que essa espécie é mais heterogênea nesse sentido. Sansígolo et al. (1986) relatam que para espécie *Acacia mearnsii* os valores de densidade básica são decrescente no sentido base-topo.

Os dados apresentados na tabela 13 (densidade básica nas diferentes alturas) foram submetidos à análise de variância onde se verificou a existência de diferença estatística entre as alturas apresentadas na tabela 14. Considerando-se que a análise de variância indicou a existência de diferença estatística para densidade básica entre as diferentes alturas, realizou-se análise de regressão polinomial para determinação do modelo de variação que se encontra apresentado na tabela 27.

Tabela 14 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia auriculiformis* (3)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,0987974	0,0246994	12,67	0,0000
Dentro do grupo	20	0,038988	0,0019494		
Total (corrigido)	24	0,137785			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

A figura 4 ilustra os modelos de variações longitudinais das densidades básicas das madeiras de *Acacia Auriculiformis*, procedências (1, 2 e 3).

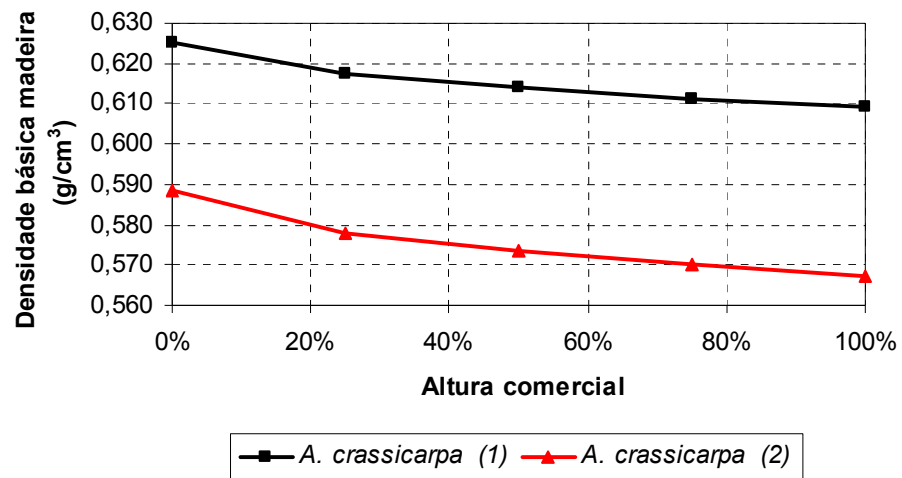


Figura 4 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de *Acacia auriculiformis*, procedências (1, 2 e 3)

Os resultados apresentados na figura 4 mostram que a densidade básica da madeira apresenta índices mais elevados na base e tende a decrescer até atingirem o valor mínimo a 100% da altura comercial.

Na tabela 15 se têm os resultados de densidade básica da madeira de *Acacia crassicaarpa* (1).

Tabela 15 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia crassicarpa* (1) e índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,643	0,495	0,493	0,478	0,462	0,528	1,70
2	0,654	0,465	0,477	0,484	0,444	0,514	2,01
3	0,626	0,486	0,457	0,465	0,501	0,507	1,76
4	0,697	0,587	0,525	0,548	0,601	0,592	1,80
5	0,667	0,442	0,480	0,439	0,527	0,501	2,47
MÉDIA	0,657	0,495	0,486	0,483	0,507	0,528	1,95
DP	0,027	0,055	0,025	0,040	0,062	0,037	0,32
CV(%)	4,05	11,18	5,16	8,37	12,19	7,00	16,17

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Os resultados apresentados na tabela 15 mostram que a densidade básica média da madeira de *Acacia crassicarpa* (1) é 0,528 g/cm³. Em termos médios observa-se uma tendência de densidade básica da madeira mais alta na base com redução até 75% da altura comercial e um ligeiro aumento até 100 % da altura comercial; resultados similares foram encontrados por Souza et al. (1986) e por Vale et al. (1995) e relatado por Valle et al. (1999). Os dados de densidade básica nas diferentes alturas foram submetidos à análise de variância para verificar se existe diferença estatística para este parâmetro entre as diferentes alturas comerciais.

Tabela 16 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia crassicarpa* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,11011	0,0275275	13,97	0,0000
Dentro do grupo	20	0,0394232	0,00197116		
Total (corrigido)	24	0,149533			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância para variação longitudinal da densidade básica para *Acacia crassicarpa* (1) mostra que existe diferença estatística para este parâmetro entre as diferentes alturas analisadas; dando seqüência a análise estatística realizou-se análise de regressão polinomial e os parâmetros de modelo matemático com melhor ajuste encontram-se apresentados na tabela 27.

A tabela 17 apresenta a análise de variância e teste F para variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Acacia crassicarpa* (2).

Tabela 17 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia crassicarpa* (2) índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,644	0,443	0,352	0,388	0,269	0,445	3,40
2	0,546	0,413	0,443	0,349	0,347	0,430	2,00
3	0,675	0,436	0,421	0,422	0,399	0,483	2,65
4	0,477	0,483	0,427	0,424	0,508	0,456	0,79
5	0,672	0,543	0,456	0,467	0,456	0,524	2,32
MÉDIA	0,603	0,464	0,420	0,410	0,396	0,468	2,23
DP	0,087	0,051	0,040	0,044	0,093	0,037	0,96
CV(%)	14,51	10,97	9,63	10,75	23,54	7,93	42,90

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Os resultados apresentados na tabela 17 mostram que a madeira de *Acacia crassicarpa* (2) apresenta densidade básica média de 0,468 g/cm³ sendo este valor inferior ao da madeira de *Acacia crassicarpa* (1) e reafirmando a variabilidade entre distintos materiais genéticos da mesma espécie. As espécies de *Acacia crassicarpa*, procedência 1 e 2, foram as que apresentaram maior índice de heterogeneidade base-topo e maior coeficiente de variação para todas as espécies analisadas neste trabalho, sendo um indicativo de uma exigência maior no trabalho de melhoramento genético destes materiais. Foram analisados estatisticamente os dados de densidade básica nas diferentes alturas e submetidos à análise de variância.

Tabela 18 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia crassicarpa* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,143148	0,0357871	7,94	0,0005
Dentro do grupo	20	0,0901536	0,00450768		
Total (corrigido)	24	0,233302			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Os resultados dos ajustes dos modelos de variação longitudinal das densidades básicas das madeiras das espécies de *Acacia crassicarpa* (1) e *Acacia crassicarpa* (2) foram plotados em gráfico representado pela figura 5.

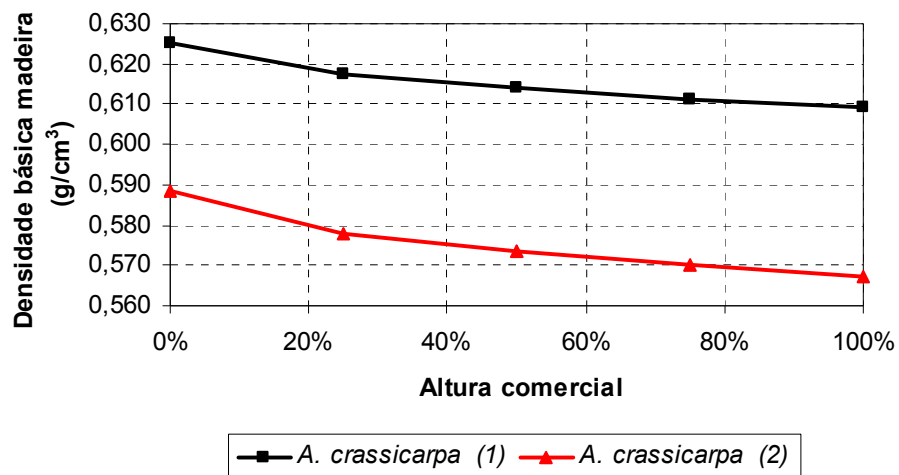


Figura 5 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de *Acacia crassicarpa*, procedências (1 e 2)

A exemplo do que foi observado na figura 5 o modelo de variação longitudinal foi o mesmo para ambas as procedências de *Acacia crassicaarpa*, contudo nota-se uma elevada diferença para densidade básica entre os distintos matérias podendo estes estar relacionados a origens das sementes.

Na tabela 19 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (1).

Tabela 19 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia mangium* (1) e índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,462	0,351	0,373	0,336	0,356	0,374	1,28
2	0,522	0,356	0,334	0,348	0,347	0,373	1,89
3	0,495	0,350	0,337	0,341	0,392	0,369	1,68
4	0,548	0,315	0,270	0,271	0,327	0,335	2,90
5	0,459	0,302	0,304	0,326	0,301	0,336	1,64
MÉDIA	0,497	0,335	0,324	0,324	0,345	0,357	1,88
DP	0,039	0,025	0,038	0,031	0,034	0,020	0,61
CV(%)	7,75	7,34	11,89	9,55	9,86	5,59	32,39

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Na tabela 19 pode-se ver que o menor resultado de densidade básica média encontrado neste trabalho é de 0,357 g/cm³ da madeira de *Acacia mangium* (1). A influência da densidade básica reflete-se na capacidade de produção de polpa celulósica de uma unidade industrial sem gargalos referentes a digestor, uma vez que o volume de madeira (em m³) necessária para produzir uma tonelada de polpa é maior. Os resultados apresentados na tabela 19 foram analisados estatisticamente para determinar se existe diferença estatística para densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (1) nas diferentes alturas consideradas.

Tabela 20 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia mangium* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,110837	0,02770992	24,40	0,0000
Dentro do grupo	20	0,0227092	0,00113546		
Total (corrigido)	24	0,133546			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância apresentada na tabela 20 mostra que existe diferença estatística para densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (1) entre as diferentes alturas das árvores sendo então realizada análise de regressão polinomial cujos parâmetros do modelo matemático com melhor ajuste encontram-se apresentados na tabela 27.

Na tabela 21 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (2).

Tabela 21 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia mangium* (2) e índices de heterogeneidade.

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,520	0,415	0,330	0,340	0,352	0,396	2,04
2	0,493	0,407	0,348	0,342	0,330	0,394	1,67
3	0,461	0,336	0,410	0,295	0,294	0,367	1,84
4	0,470	0,424	0,350	0,273	0,290	0,379	2,01
5	0,476	0,379	0,361	0,354	0,383	0,387	1,25
MÉDIA	0,484	0,392	0,360	0,321	0,330	0,384	1,76
DP	0,023	0,036	0,030	0,035	0,039	0,012	0,32
CV(%)	4,81	9,06	8,47	10,84	11,93	3,07	18,30

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Os resultados apresentados na tabela 21 mostram que a madeira de *Acacia mangium* (2) apresenta densidade básica média de 0,384 g/cm³. As madeiras de *Acacia mangium* apresentaram a maior variação da densidade básica entre os diferentes materiais genéticos da mesma espécie, sendo que os menores valores observados para espécie estão associados aos materiais de maior produtividade florestal.

Na tabela 22 apresenta a análise de variância e teste F para variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (2).

Tabela 22 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia mangium* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,0868082	0,0217021	19,77	0,0000
Dentro do grupo	20	0,0219532	0,00109766		
Total (corrigido)	24	0,108761			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr= probabilidade de F significativo

Os resultados da análise de variância apresentados na tabela 22 mostram que existe diferença estatística para densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (2) entre as diferentes alturas e os parâmetros do modelo matemático com melhor ajuste estatístico para a relação entre altura da árvore e densidade básica obtidos por análise de regressão polinomial apresentados na tabela 27.

Na tabela 23 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (3).

Tabela 23 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia mangium* (3) e índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,582	0,425	0,388	0,387	0,320	0,447	2,29
2	0,522	0,368	0,355	0,331	0,334	0,387	1,91
3	0,564	0,315	0,325	0,332	0,330	0,366	2,51
4	0,587	0,408	0,352	0,369	0,360	0,427	2,43
5	0,565	0,375	0,390	0,423	0,368	0,431	2,05
MÉDIA	0,564	0,378	0,362	0,368	0,342	0,412	2,24
DP	0,025	0,042	0,027	0,039	0,021	0,034	0,25
CV(%)	4,52	11,19	7,52	10,53	6,04	8,24	11,38

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

A madeira de *Acacia mangium* (3) apresenta densidade básica média de 0,412 g/cm³; este valor é superior aos anteriores para a mesma espécie. Aplicou-se análise de variância e teste F para variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (3).

Tabela 24 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia mangium* (3)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,165433	0,0413582	40,30	0,0000
Dentro do grupo	20	0,0205252	0,00102626		
Total (corrigido)	24	0,185958			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância apresentada na tabela 24 mostra que existe diferença estatística significativa para densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (3) entre as diferentes alturas da árvore sendo então realizada análise de regressão polinomial cujos resultados encontram-se sumarizados na tabela 27.

Na tabela 25 são apresentados os resultados de densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (4).

Tabela 25 - Variação base-topo da densidade básica (valores médios) para *Acacia mangium* (4) e índices de heterogeneidade

ÁRVORE	POSIÇÃO					POND	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,520	0,430	0,436	0,447	0,514	0,458	1,06
2	0,573	0,474	0,492	0,506	0,490	0,508	1,03
3	0,560	0,421	0,409	0,408	0,428	0,446	1,56
4	0,539	0,502	0,427	0,408	0,441	0,478	1,41
5	0,527	0,403	0,368	0,390	0,351	0,423	1,70
MÉDIA	0,544	0,446	0,426	0,432	0,445	0,463	1,35
DP	0,022	0,041	0,045	0,047	0,063	0,032	0,30
CV(%)	4,13	9,17	10,53	10,79	14,16	7,00	22,08

POND – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade

Os resultados apresentados na tabela 25 mostram que a madeira de *Acacia mangium* (4) apresenta densidade básica média de 0,463 g/cm³. Os resultados mostram uma similaridade de variação longitudinal entre os materiais de *Acacia mangium* (1 e 2) e os materiais *Acacia mangium* (3 e 4), neste caso a partir da altura comercial de 50% tendem a se estabilizar.

As espécies de *Acacia mangium* (3 e 4), foram as que apresentaram menor índice de heterogeneidade. Segundo Souza et al¹. citado por Duarte (2007), é desejável que a madeira destinada ao processamento industrial seja mais homogênea possível para facilitar o controle de operação e proporcionar uma melhor qualidade ao produto final.

A tabela 26 apresenta a análise de variância e teste F para variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (4).

¹ SOUZA, V. R.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetros e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*

Tabela 26 – Análise de variância e teste F para variação longitudinal da espécie de *Acacia mangium* (4)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	4	0,0468166	0,0117041	5,67	0,0032
Dentro do grupo	20	0,0412896	0,00206448		
Total (corrigido)	24	0,0881062			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância apresentada na tabela 26 mostra que existe diferença estatística significativa para densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (4) entre as diferentes alturas da árvore sendo então realizada análise de regressão polinomial cujos resultados encontram-se apresentados na tabela 27.

Na figura 6 é apresentado o comportamento da variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* (1, 2, 3 e 4), considerando os valores médios.

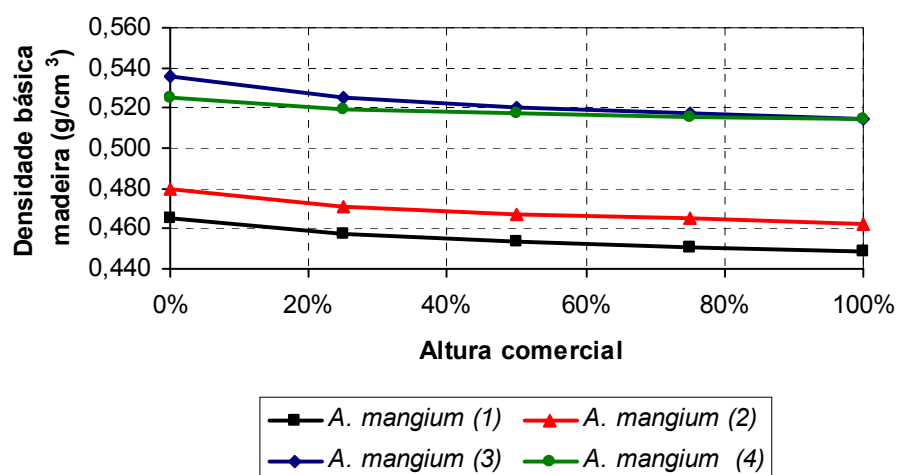


Figura 6 – Variação longitudinal – densidade básica da madeira para espécie de *Acacia mangium*, procedências (1, 2, 3 e 4)

Verifica-se, na figura 6 que as densidades básicas das madeiras mostram-se somente elevada na base da árvore para todas as procedências de *Acacia mangium*; esta tendência foi constante para todos os materiais genéticos deste estudo, porém, Vale et al. (1999) encontrou outra tendência de variação longitudinal para madeira de *Acacia mangium* aos sete anos de idade, tendo uma diminuição até 50% da altura comercial e crescendo até o topo, sem no entanto, alcançar os valores da base.

Segundo Bassa (2002) e citado por Almeida (2003) florestas com maiores taxas de crescimento tendem a produzir madeira com menor densidade básica, em função do próprio ritmo de crescimento da floresta, sendo este comportamento observado para a maioria dos materiais genéticos estudados neste trabalho.

As madeiras de *A. mangium* apresentaram a maior variação da densidade básica entre os diferentes materiais genéticos da mesma espécie, sendo que os menores valores observados para esta espécie estão associados aos materiais de maior produtividade florestal. A figura 7 ilustra a correlação entre o incremento médio anual (IMA) e a densidade básica da madeira dos materiais considerados neste trabalho.

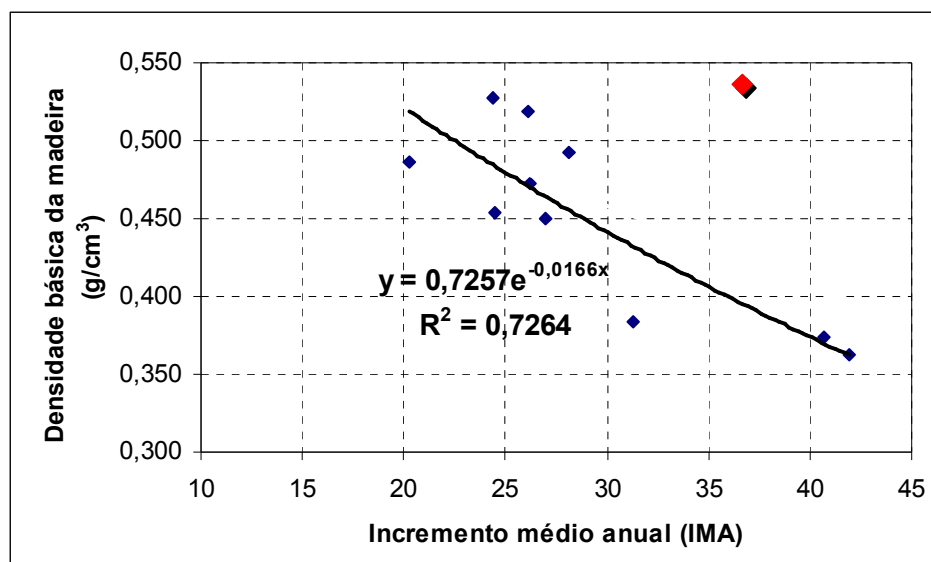


Figura7 – Correlação entre densidade básica da madeira e incremento médio anual dos materiais considerados neste trabalho

Na figura 7, o ponto em destaque representa a espécie *A. crassicarpa*, procedência (1), sendo esta relevante por está fora da média de correlação positiva estabelecida entre maior taxa de crescimento (IMA) com a menor densidade básica da madeira. Porém, a procedência em discussão apresenta perfil desejado no segmento de celulose e papel por apresentar um alto IMA e alta densidade básica da madeira, sendo pontos favoráveis para conversão em massa (ton/ha) de madeira na produção de celulose.

Regiões de diferentes densidades são formadas dentro do tronco e, de acordo com Albino e Tomazello Filho (1985), devem-se à formação de lenho de tração, lenho de reação ou outros fatores ligados às condições de crescimento da árvore. Dessa forma, o comportamento da densidade, ao longo do fuste, difere entre espécies: aumentando até certa altura do tronco e depois diminuindo até a copa, como encontrado por Souza et al. (1979), para o gênero *Eucalyptus*, aumentando no sentido da base para o topo, conforme Ferreira (1972) ou diminuindo até certa altura do tronco e depois aumentando em direção a copa, como encontrado por Vale et al. (1995) para o *Eucalyptus grandis*, sendo encontrado comportamento semelhante para espécie de *Acacia mangium* que apresentou tendência de diminuição até metade da altura e crescendo deste ponto até o topo Vale et al. (1999).

Analisando as tabelas 5 a 26, nota-se que a madeira de *Acacia mangium* para as distintas procedências apresentou densidade básica da madeira inferior as demais espécies de *Acacia* e suas procedências.

Os resultados apresentados nos gráficos 3, 4, 5 e 6 mostram uma tendência de diminuição suavizada da base até o topo com exceção para espécie de *Acacia aulacocarpa* procedência 2 que apresentou uma diminuição abrupta da base até altura de 25% da altura comercial e esta queda manteve-se crescente até o topo.

Os resultados demonstram que os modelos de variação da densidade da árvore foram mais pronunciados entre as procedências das distintas espécies.

Os baixos resultados de variação longitudinal da densidade básica obtidos para espécie *Acacia aulacocarpa* 1 demonstram a homogeneidade do material e são importantes para o processamento destes materiais na produção de polpa celulósica, pois implicarão a menores variações no processo de polpação e conseqüentemente a

uma maior obtenção de celulose em rendimento por unidade de volume, redução de custos operacionais e obtenção de produtos com qualidade uniforme.

Vale, Brasil e Martins (1999) obtiveram resultados para densidade básica média da madeira de *Acacia mangium* Willd, aos sete anos de idade igual a $0,524 \pm 0,076$ g/cm³ e esta espécie apresentou tendência de diminuição até metade da altura comercial, crescendo a partir deste ponto sem, no entanto, alcançar os valores da base.

A tabela 27 apresenta o resumo dos modelos de equação de variação longitudinal das espécies de *Acacia* avaliadas nesse trabalho. Nela podem-se visualizar os resultados das análises de variância (significativo ou não), o modelo ajustado, com seus parâmetros a e b e os resultados de correlação obtidos.

Tabela 27 – Modelos de equação de variação longitudinal das espécies de *Acacia*

Espécie	Anova	Modelo ajustado	a	b	R²
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	Não significativo	-	-	-	-
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,5659	-0,0201806	71,49
<i>A. auriculiformis</i> (1)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,5780	-0,015077	71,08
<i>A. auriculiformis</i> (2)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,6076	-0,0158914	67,49
<i>A. auriculiformis</i> (3)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,6211	-0,0165687	60,88
<i>A. crassicarpa</i> (1)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,6253	-0,0162071	53,68
<i>A. crassicarpa</i> (2)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,5883	-0,0211413	58,54
<i>A. mangium</i> (1)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,4651	-0,0163111	60,88
<i>A. mangium</i> (2)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,4793	-0,0165937	77,36
<i>A. mangium</i> (3)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,5370	-0,025906	76,60
<i>A. mangium</i> (4)	significativo	$Y = a + b\sqrt{x}$	0,5248	-0,017916	40,39

Onde: Y = parâmetro a ser estimado e x = % posição

Os resultados apresentados na tabela 27 mostram que para todos os materiais analisados neste trabalho, o modelo de variação longitudinal (raiz-quadrada) foi o que apresentou o melhor ajuste, muito embora para alguns materiais o coeficiente de determinação pode ser considerado baixo.

Com o objetivo de facilitar a comparação entre os diferentes materiais considerados neste trabalho no que refere-se a densidade básica da madeira, realizou-se análise de variância (tabela 28) e teste de tukey (tabela 29) para densidade básica média ponderada.

Tabela 28 - Análise da variância e teste F para densidade básica média ponderada.

Parâmetros	GL	SQ	QM	F	PR
Matéria-prima	10	0.18615895	0.01861589	11.82	<.0001
Resíduo	44				
Total	54				

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

Os resultados da análise de variância mostram que existe diferença estatística entre as procedências das espécies.

Tabela 29 - Teste de Tukey para densidade básica da madeira média ponderada

Espécies	Densidade Básica da Madeira - Média ponderada
<i>Acacia crassicarpa</i> (1)	0,534 a
<i>Acacia auriculiformis</i> (3)	0,525 a
<i>Acacia auriculiformis</i> (2)	0,513 a
<i>Acacia aulacocarpa</i> (1)	0,491 a
<i>Acacia auriculiformis</i> (1)	0,488 a
<i>Acacia crassicarpa</i> (2)	0,471 ba
<i>Acacia aulacocarpa</i> (2)	0,453 ba
<i>Acacia mangium</i> (4)	0,453 ba
<i>Acacia mangium</i> (3)	0,400 bc
<i>Acacia mangium</i> (2)	0,366 c
<i>Acacia mangium</i> (1)	0,357 c

Para permitir uma melhor visualização e interpretação dos dados apresentados nas tabelas 28 e 29 os resultados da densidade básica da madeira média ponderada, foram plotados em gráfico (figura 8).

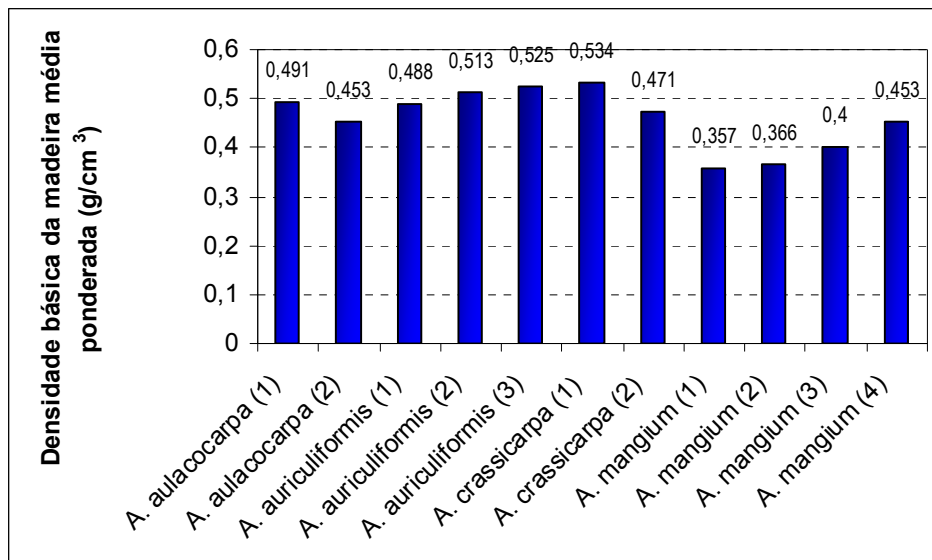


Figura 8 – Densidade básica da madeira média ponderada

Os resultados do teste de Tukey mostram uma ampla variação de densidade básica para madeiras de *Acacia* entre 0,357 g/cm³ e 0,534 g/cm³ o que favorece a programas de melhoramento genético, não apenas para produção de madeira visando produção de polpa celulósica mas também outras aplicações como serraria, laminação, painéis, lenha e carvão vegetal.

Segundo Freddo (1997) em estudo onde avaliou e comparou quatro espécies de *Eucalyptus* (*E. dunnii*, *E. globulus*, *E. grandis* e *E. saligna*) e uma espécie de *Acacia* (*A. mearnsii*), aos seis anos de idade, as espécies com árvores de maior volume apresentaram madeira com menor densidade básica.

Além da densidade básica da madeira, a sua variação ao longo do fuste é um parâmetro que deve ser considerado. Materiais mais homogêneos em termos de densidade básica proporcionam melhores condições operacionais em unidades de produção de polpa celulósica o que por sua vez leva a otimização do processo industrial em termos de custo de produção e qualidade da polpa celulósica obtida.

Andrade (2006) ressalta a importância da densidade básica no rendimento e no custo dos processos de produção de polpa celulósica, pois para espécies que possuem alta densidade, há uma menor dificuldade de manuseio por haver menor volume de toras e cavacos para uma mesma quantidade de massa. Associando os dados de incremento médio anual e densidade básica média ponderada calculou-se a massa de madeira produzida por unidade de área para os materiais genéticos utilizados neste trabalho; estes resultados encontram-se apresentados na tabela 30.

Tabela 30 – Valores de massa das espécies de *Acacia*

Espécie	Massa (ton/ha)
<i>Acacia crassicarpa</i> (1)	64,42
<i>Acacia auriculiformis</i> (3)	55,62
<i>Acacia auriculiformis</i> (2)	68,71
<i>Acacia aulacocarpa</i> (1)	67,05
<i>Acacia auriculiformis</i> (1)	64,10
<i>Acacia crassicarpa</i> (2)	96,78
<i>Acacia aulacocarpa</i> (2)	47,36
<i>Acacia mangium</i> (4)	74,83
<i>Acacia mangium</i> (3)	78,03
<i>Acacia mangium</i> (2)	64,40
<i>Acacia mangium</i> (1)	62,37

Para cada procedência calculou-se o índice de heterogeneidade da madeira que procura expressar a variabilidade da densidade no sentido longitudinal, a partir da densidade básica em diferentes alturas (como descrito no item 2. 3. 2. 1 de materiais e métodos).

Na figura 9 são apresentados os valores do índice de heterogeneidade da densidade básica da madeira para os materiais considerados neste trabalho.

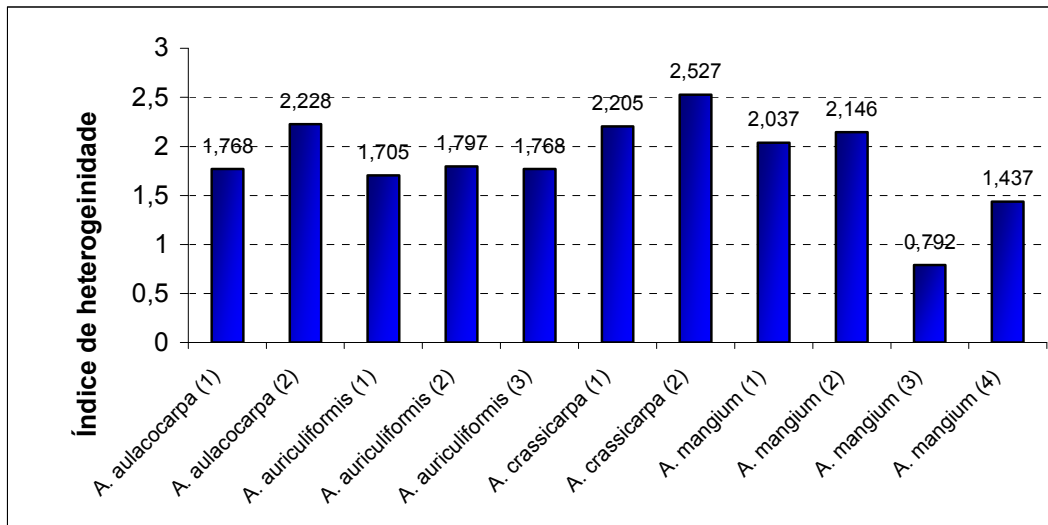


Figura 9 – Índice de heterogeneidade

Os valores do índice de heterogeneidade, assim como os resultados já apresentados anteriormente, mostram que os materiais considerados neste estudo são bastante distintos. Adicionalmente os valores para o índice de heterogeneidade para densidade da madeira podem ser considerados relativamente altos e este fato pode estar relacionado aos baixos níveis de melhoramento genético dos materiais utilizados. Pasztor (1974), trabalhando com *E. pilularis* aos 5 anos de idade, proveniente da região de Mogi Guaçu (SP), detectou alta variação na densidade entre as procedências.

A espécie de *A. mangium*, procedências 3 e 4, foram as que apresentaram menor índice de heterogeneidade e a espécie *A. auriculiformis* (1, 2 e 3) foram as que apresentaram maior uniformidade entre as procedências.

O índice de heterogeneidade mostrou-se, em média mais alto para a *A. aulacocarpa*, porém, houve grande variação deste entre as procedências de *A. mangium*, sendo o maior e menor índice de heterogeneidade encontrado para todas as espécies e procedências foram respectivamente de 2,24 e 1,35; isso mostra que a variabilidade entre procedências é bem maior que entre espécie.

2.3.2 Composição química da madeira

Para a determinação da qualidade da madeira, visando a produção de polpa e papel os parâmetros químicos como teores de celulose, lignina, pentosanas e extrativos

são considerados relevantes e determinantes na eficiência do processo de polpação, influenciando no consumo de reagentes, no rendimento em polpa celulósica, na quantidade de sólidos gerados.

O conhecimento da composição química da madeira não é o suficiente para avaliar o seu comportamento durante o processo de polpação uma vez que os componentes encontram-se arranjados de forma complexa tornando o comportamento diferente de quando estão isolados. De qualquer forma, o conhecimento da composição química da madeira favorece a interpretação do comportamento da madeira no processo de polpação. Segundo Bamber (1985), a polpação química é baseada no princípio de que a lignina pode ser degradada seletivamente usando reagentes químicos apropriados favorecendo a separação das fibras sem destruir a celulose ou a forma das fibras.

Valente et al. (1992), estabeleceu que um baixo teor de lignina e um alto teor de carboidratos requererão condições mais brandas de polpação e conduzirão a um alto rendimento gravimétrico.

Os resultados para as análises químicas das madeiras para as diferentes espécies estão apresentados na tabela 31.

Tabela 31 – Características químicas das madeiras

Espécies	%					
	Holo	L. I.	L. S.	L. T.	E. T.	Pentosana
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	68,79 a	23,39 b	3,26 a	26,65 bdc	4,56 e	18,03 ba
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	67,09 ba	25,32 b	2,27 ba	27,59 bac	5,32 e	15,27 bac
<i>A. auriculiformis</i> (1)	60,99 c	24,95 b	2,52 ba	27,46 bdac	11,55 a	21,01 a
<i>A. auriculiformis</i> (2)	64,35 bac	23,44 b	1,66 b	25,10 dc	10,55 ba	17,95 ba
<i>A. auriculiformis</i> (3)	64,74 bac	24,35 b	1,79 b	26,14 bdc	9,12 bac	15,90 bac
<i>A. crassicarpa</i> (1)	65,31 bac	27,98 a	1,85 b	29,83 a	4,86 e	8,32 c
<i>A. crassicarpa</i> (2)	66,58 ba	25,46 b	2,42 ba	27,88 ba	5,54 e	9,05 bc
<i>A. mangium</i> (1)	64,73 bac	24,38 b	2,36 ba	26,74 bdc	8,53 bdc	19,87 a
<i>A. mangium</i> (2)	67,48 ba	24,63 b	1,96 b	26,59 bdc	5,93 ed	18,91 a
<i>A. mangium</i> (3)	68,09 a	23,39 b	1,40 b	24,79 d	7,12 edc	23,96 a
<i>A. mangium</i> (4)	63,51 bc	24,77 b	2,05 ba	26,83 bdc	9,66 bac	19,45 a

Os valores apresentados com mesma letra não se diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Onde:

Holo = holocelulose (%)

L. I. = lignina insolúvel (%)

L. S. = lignina solúvel (%)

L. T. = lignina total (%)

E. T. = extrativos totais (%)

Os materiais avaliados apresentam variação com relação à composição química da madeira. A análise de variância dos resultados de holocelulose, teores de lignina insolúvel, lignina solúvel, lignina total, extrativos totais e pentosana podem ser visualizados no Apêndice D.

Na comparação entre os resultados obtidos nos diferentes materiais avaliados, verifica-se que os teores de holocelulose foram distintos para todas as espécies e apresentaram uma variação de 60,99% para *A. auriculiformis* (1) e 68,79% para *A. aulacocarpa* (1) como valores mínimo e máximo.

Segundo Alencar (2002), madeira com maior teor de lignina pode exigir uma maior quantidade de álcali para que possa atingir o mesmo nível de deslignificação da polpa, o que implica numa maior degradação dos carboidratos e dissolução dos polissacarídeos de baixo peso molecular; tal fato pode acarretar redução no rendimento, queda de viscosidade e de resistências físico-mecânicas da polpa, além de gerar também maior quantidade de sólidos para queima em caldeira de recuperação.

De acordo com Carvalho et al. (1998), maiores teores de lignina presentes na madeira podem exigir maiores cargas de reagentes químicos durante o processo de cozimento, assim como maiores teores de extrativos, que também colaboram para tal, além de possuírem maior potencial para formação de depósitos de “pitch” em equipamentos, principalmente, telas e feltros e ainda afetarem o potencial de absorção de líquidos no papel.

O teor de lignina total das madeiras do gênero *Acacia* consideradas neste trabalho estão em consonância com os valores encontrados por Law (1998), que comparou as seguintes espécies (*Acacia mangium* com 12 a 13 anos de idade, *Populus tremuloïdes* e *Betula papyrifera*) e encontrou os respectivos valores de lignina total (25,60; 18,10 e 18,40%). Sansígolo et al. (1986) estudando *Acacia mearnsii* com idades de 4, 7 e 10 anos encontrou teores de lignina inferiores ao estudo em questão sendo estes valores respectivamente iguais a 18,28; 19,06 e 19,64%; os valores mais elevados de lignina e extrativos encontrados neste trabalho são indicativos de maior dificuldade de deslignificação kraft.

As quatro espécies de *Acacia* investigadas apresentaram teores de extrativos totais significativamente diferentes, com uma amplitude de 6,99%. As espécies *A. aulacocarpa* e *A. crassicarpa* apresentaram teores de extrativos totais semelhantes, não diferenciando estatisticamente.

As espécies de *Acacia auriculiformis* apresentaram um alto valor de extrativos totais, sendo estes compostos indesejáveis no processo de polpação, uma vez que os

mesmos podem consumir reagentes químicos e provocar incrustações resinosas do tipo “pitch” em tubulações; porém, não se deve descartar a possibilidade do uso destes extrativos da madeira na obtenção de corantes naturais, pois sua remoção não causa danos ao tecido madeireiro e não tomam parte essencial na sua formação estrutural aliado ao fato de apresentarem cor e serem facilmente removidos da madeira.

De acordo com Pinto et al. (2005) que avaliaram a composição química de *A. mangium* aos 7 anos de idade, para holocelulose, lignina total e extrativos totais foram obtidos os valores de 70,9; 27,1 e 4,26%, respectivamente e sendo próximos aos obtidos no presente trabalho.

Os resultados obtidos para teores de pentosanas na madeira demonstram que a *Acacia mangium* apresentou maior quantidade que as espécies de *A. aulacocarpa*, *A. auriculiformis* e *A. crassicarpa*. De acordo com Ferreira et al. (1997), as pentosanas são substâncias da madeira que pertencem ao grupo das hemiceluloses, sendo benéfica a sua presença na polpa, pois contribuem para formação de pontes de hidrogênio, maior facilidade de hidratação das fibras e em consequência, proporciona melhor resposta ao refino e ganhos nas suas propriedades físico-mecânica.

2.3.3 Dimensões das fibras

As dimensões das fibras, comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede são importantes, pois as propriedades físico-mecânicas da polpa celulósica relacionam-se, fundamentalmente com estas características.

Na tabela 32 são apresentados os resultados da análise de dimensões de fibras dos resultados utilizados neste trabalho realizado do material dissociado. Os resultados mostram que algumas propriedades tiveram diferenças significativas, conforme representado pelo teste de Tukey.

Tabela 32 – Dimensões das fibras

Espécies	C (mm)	L (μm)	DI (μm)	E (μm)	FP (%)	CF (%)	IR
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	1,04 ba	18,25 c	10,25 c	3,99 a	45 a	55 b	0,907 a
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	0,97 bac	18,00 c	10,00 c	3,99 a	45 a	55 b	0,864 ba
<i>A. auriculiformis</i> (1)	0,87 bc	18,25 c	10,75 bc	3,75 a	42 ba	58 b	0,821 ba
<i>A. auriculiformis</i> (2)	0,89 bc	17,50 c	10,75 bc	3,37 a	39 ba	61 ba	0,645 ba
<i>A. auriculiformis</i> (3)	1,01 ba	19,75 bc	13,00 bc	3,75 a	39 ba	66 ba	0,589 ba
<i>A. crassicarpa</i> (1)	0,95 bac	20,75 bc	13,50 bc	3,62 a	37 ba	64 ba	0,594 ba
<i>A. crassicarpa</i> (2)	1,11 a	19,25 bc	11,50 bc	3,87 a	40 ba	59 ba	0,686 ba
<i>A. mangium</i> (1)	0,81 c	27,75 a	21,25 a	3,25 a	24 b	76 a	0,312 b
<i>A. mangium</i> (2)	0,98 bac	24,00 bc	17,25 ba	3,37 a	28ba	71 ba	0,413 ba
<i>A. mangium</i> (3)	0,90 bc	22,00bac	15,75 bac	3,12 a	29 ba	71 ba	0,402 ba
<i>A. mangium</i> (4)	0,90 bc	25,00 ba	15,75 bac	4,62 a	37 ba	63 ba	0,618 ba

Os resultados apresentados na tabela 32, quando comparados aos valores disponíveis na literatura, permitem concluir que os valores para as dimensões das fibras para as diferentes procedências utilizadas neste trabalho podem ser considerados consoantes com resultados apresentados por Law (1998), Sansígolo et al. (1986) e Santos et al. (2005) para madeiras de *Acacia spp.*

As procedências de *Acacia*, apresentaram diferença significativa anatomicamente para o comprimento, sendo a maior diferença entre as procedências *Acacia crassicarpa* (2) versus *Acacia mangium* (1) atingiram cerca de 37% e dentro das procedências a maior variação foi para *Acacia mangium* (1) versus *Acacia mangium* (2) com variação do comprimento próximo de 20%, porém em termos de característica de polpa, o impacto sobre as propriedades físico-mecânicas não é proporcional.

Smook (1994), Silva Júnior (2005) descrevem que fibras de maior comprimento exercem influência significativa e positiva sobre a resistência ao rasgo da folha de papel. Segundo os autores, fibras com maior espessura de parede também contribuem

para o incremento da resistência ao rasgo e se correlacionam de forma negativa com o número de fibras por grama de polpa e de forma positiva com o coarseness de fibras e volume específico do papel.

Pela tabela 32 observa-se que as fibras de *Acacia mangium* (3) apresentam paredes de menores espessuras, determinando reflexos sobre o coeficiente de flexibilidade, fração parede e índice de Runkel. Polpas com fibras com fração parede alta tendem a apresentar maior volume específico (“bulk”), papel mais rígido e mais opaco; já fibras com fração parede baixa tendem a apresentar elevada resistência à tração (FOELKEL, 1976; CARPIM et al., 1987; BASSA, 2002; Silva Júnior 2005).

Todos estes valores encontram-se dentro da faixa como os mais recomendáveis para produção de papel. Segundo Foelkel (1978), Gamoeda (1988) e Paula & Alves (1989), a madeira de boa qualidade para produção de papel são aquelas que possuem coeficiente de flexibilidade acima de 50%, índice de Runkel 1,5 e peso específico até $0,6 \text{ g/cm}^3$.

As dimensões das fibras isoladamente podem não mostrar correlações significativas com propriedades da madeira e da polpa, sendo comum associá-las na forma de índices e coeficientes, os quais combinam as propriedades morfológicas. Porém esses índices e outros coeficientes relacionados às dimensões das fibras não devem ser utilizados de forma isolada para indicação de uma determinada propriedade do papel conforme comentado por Barrichelo & Brito (1977).

Nas figuras 10, 11,12 e 13 são apresentados os valores das dimensões das fibras para diferentes procedências.

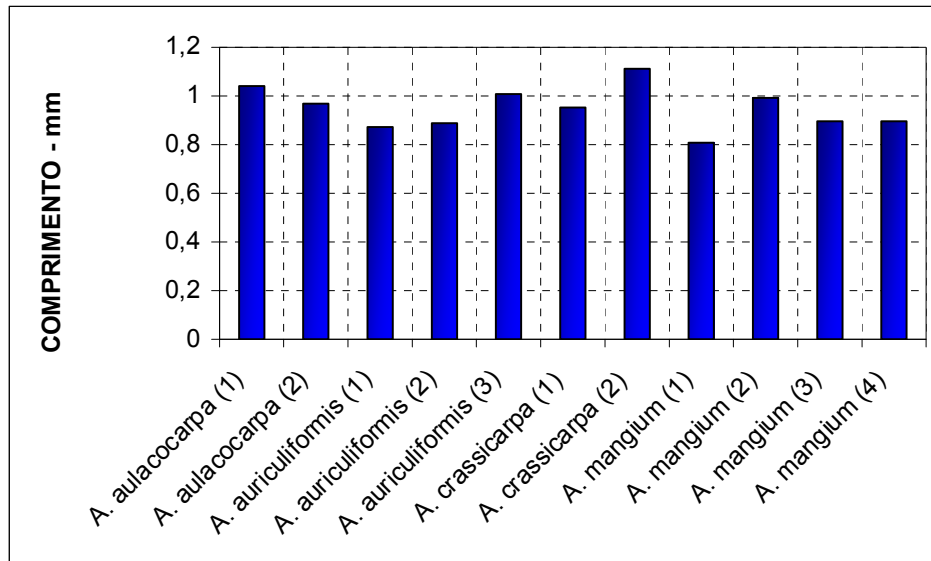


Figura 10 – Comprimento das fibras

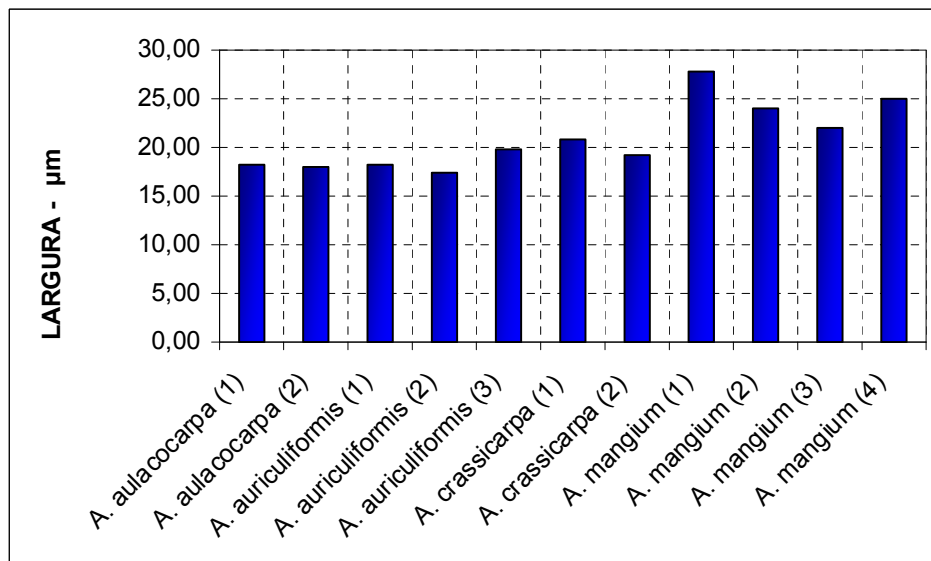


Figura 11 – Largura das fibras

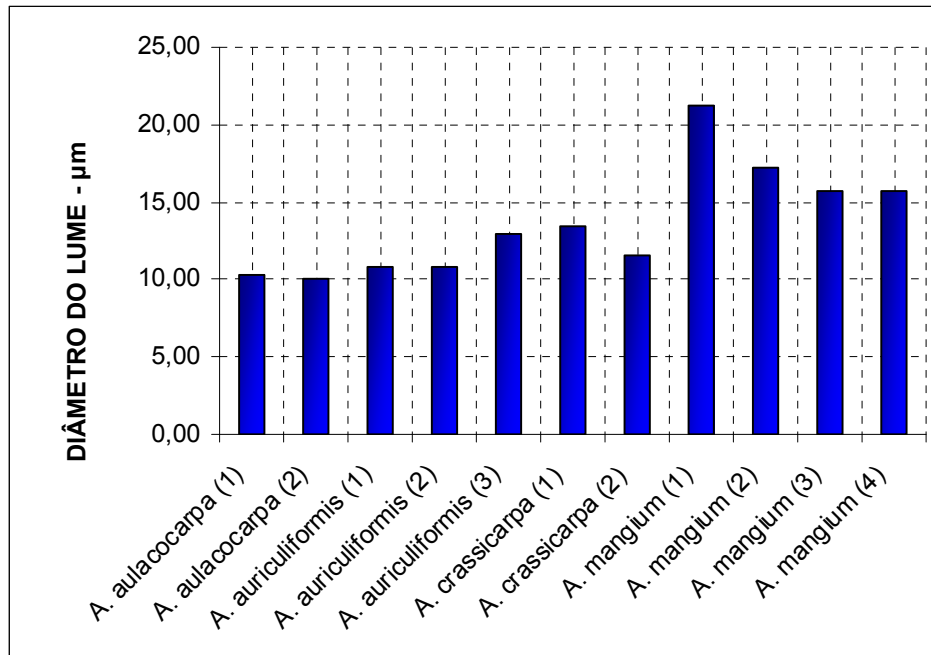


Figura 12 – Diâmetro do lume

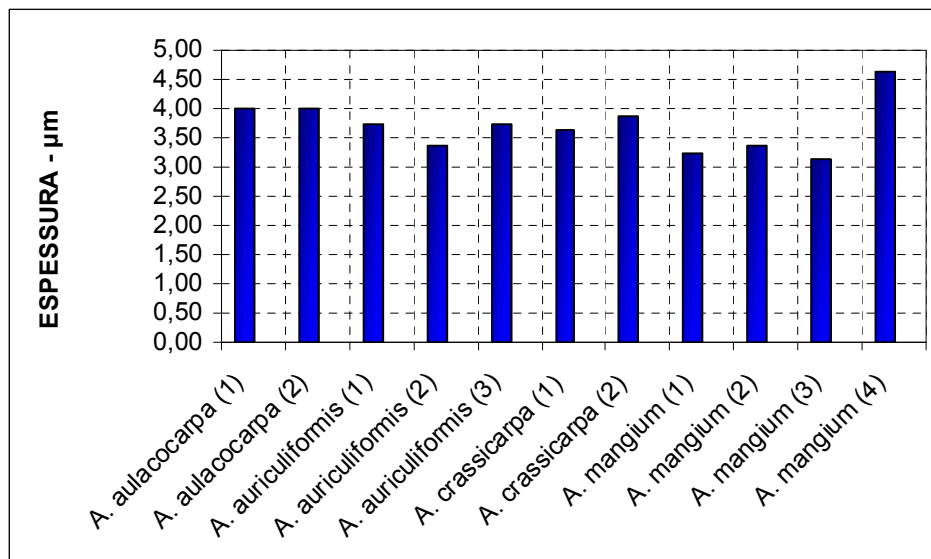


Figura 13 – Espessura das fibras

Nota-se que dentro das procedências a *Acacia mangium* apresentaram maior variação da largura, espessura e diâmetro do lume. Segundo Trugilho (1996), a estabilização no valor do diâmetro do lume está relacionado à variação proporcional que ocorre na largura e na espessura da parede da fibra.

Na figura 14 pode-se observar os resultados obtidos para a fração parede nas diferentes procedências.

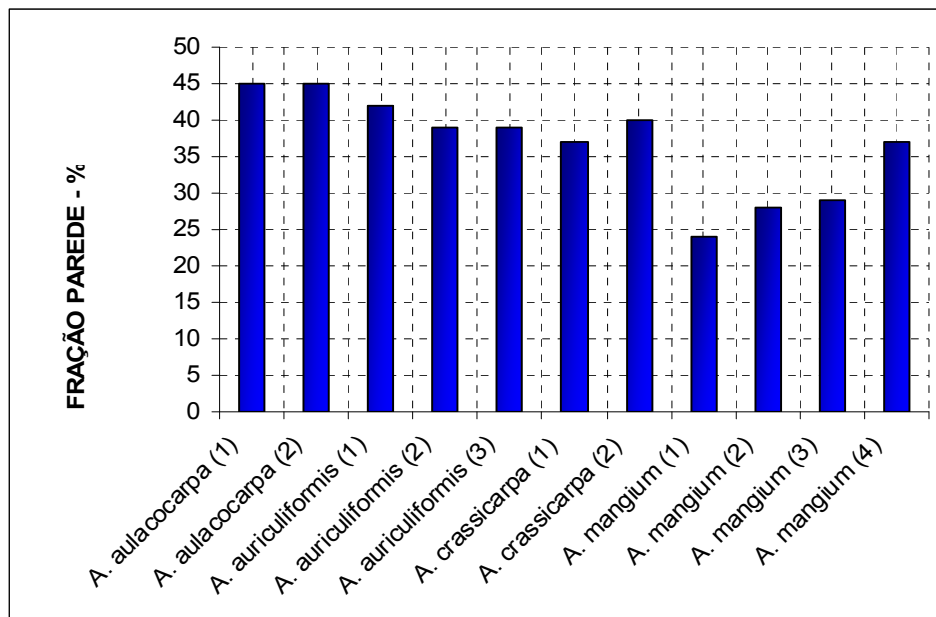


Figura 14 – Fração parede

Para a fração parede foram obtidos valores máximo e mínimo de 45 e 24%, correspondendo respectivamente a *A. aulacocarpa*, procedência (1 e 2) e *A. mangium* (1), tendo diferença significativa entre as procedências somente para *A. mangium* e somente as espécies de *A. aulacocarpa* (1 e 2) e *A. auriculiformis* (1) apresentaram valores superiores a 40% de fração parede, possibilitando a interferência de que a celulose produzida com as referidas espécies terão menor qualidade em comparação com as demais espécies. A fração parede é um índice que influencia a qualidade da celulose e papel, podendo auxiliar na explicação dos resultados para resistência do produto final, segundo Foelkel & Barrichelo (1975), valores superiores a 40 % implicam em prejuízo a qualidade da celulose. Isso porque as fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e com dificuldade nas interligações das mesmas.

Os valores de fração parede observados para espécies de *Acacia* estão dentro da faixa dos valores obtidos por Sansígolo et al. (1986), que avaliaram a madeira de *Acacia mearnsii* com idades de 4, 7 e 10 anos e obtiveram valores respectivamente de 39,27%; 42,26% e 43,18%. Neste trabalho, os autores concluíram que as relações entre as dimensões das fibras de madeira adulta revelaram que a fração parede, o índice de enfiamento e relação comprimento e espessura mais elevados, os quais são indicativos para a produção de polpas com melhores propriedades físico-mecânicas, principalmente resistência ao rasgo.

Gomide et al (2005) e referido por Bassa (2006) citam que uma característica importante das fibras para papéis de impressão com elevado volume específico (“high bulk”) e sanitários (“tissue”) é a espessura de parede celular que, também pode ser correlacionada ao coarseness da polpa. Em geral, polpas produzidas com fibras que apresentam maiores frações de parede tendem a produzir polpas com maiores coarseness e papéis com volume específicos aparentes mais elevados.

2.3.4 Polpação

O processo kraft é determinado pelas relações entre as velocidades e eficiências dos sistemas físicos e químicos envolvidos, pela composição química e temperatura da madeira e do licor de cozimento. Aspectos desse comportamento incluem a seletividade, habilidade de remover lignina sem ataque extensivo a fração de carboidratos da madeira (Silva Júnior et al., 1997), uma vez que os carboidratos constituem o produto final desejado.

As polpas celulósicas obtidas a partir da madeira de folhosas são utilizadas principalmente para produção de papéis “tissue” de imprimir e escrever; nestes casos é necessário que as polpas sejam branqueadas a altos níveis de alvura.

Considerando-se os aspectos citados anteriormente, o processo de polpação de madeira de folhosas deve ser conduzido visando atingir o nível de deslignificação estabelecido mantendo o rendimento o mais alto possível uma vez que este parâmetro está relacionado ao consumo de madeira e conseqüentemente ao custo da celulose, pois a madeira é o seu principal item de custo.

Os cozimentos neste trabalho foram conduzidos visando à obtenção de uma curva de polpação variando-se unicamente a carga alcalina.

Considerando-se que as polpas de fibras curtas são destinadas principalmente a produção de papéis de impressão, escrita e “tissue” e para estes fins as polpas celulósicas devem ser branqueadas. Polpas de fibras curtas, como no caso do *Eucalyptus* que são submetidos ao branqueamento, o número kappa deve estar compreendido numa faixa de 20 a 15% e tomando como média um número kappa de 18%. Com o objetivo de comparar o desempenho de polpação kraft dos diferentes materiais utilizados neste estudo com relação a produção de polpa celulósica, ajustou-se equações de regressões, em que a variável independente foi o número kappa, sendo as variáveis dependentes o álcali ativo e o rendimento depurado das polpas celulósicas para obtenção da curva de polpação.

Os parâmetros dos processos de polpação considerados neste trabalho são: rendimento bruto (RB), rendimento depurado (RD), teor de rejeito (Teor Rej.) e número kappa (kappa) das espécies consideradas neste trabalho são apresentadas a seguir.

Tabela 33 – Valores médios de polpação de *A. aulacocarpa* (1), desvio padrão e coeficiente de variação

AA (%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	60,86	59,46	1,40	27,12
	DP	3,02	2,89	0,67	4,09
	CV (%)	4,97	4,85	47,89	15,08
19,5	Média	58,41	57,41	1,00	24,08
	DP	3,14	2,89	0,50	3,61
	CV (%)	5,38	5,04	49,84	15,01
21,0	Média	58,65	58,07	0,58	20,84
	DP	2,61	2,31	0,34	2,71
	CV (%)	4,46	3,98	58,07	13,02
22,5	Média	58,04	57,76	0,28	20,06
	DP	2,67	2,66	0,11	1,88
	CV (%)	4,60	4,61	39,70	9,36
24,0	Média	55,85	55,71	0,14	15,15
	DP	1,14	1,16	0,13	1,91
	CV (%)	2,04	2,08	94,97	12,60
25,5	Média	55,25	55,01	0,24	14,45
	DP	0,82	0,96	0,20	1,24
	CV (%)	1,48	1,74	84,84	8,56

Foi possível constatar que o aumento do nível de álcali dos cozimentos tem-se um incremento do nível de deslignificação e conseqüentemente, redução do número kappa, dos rendimentos (brutos e depurados) e do teor de rejeitos.

Com relação ao rendimento do processo kraft de polpação, Silva Júnior (2005) afirma que o rendimento depurado pode ser interpretado como efeito do processo sobre a preservação de carboidratos e que o número kappa pode ser considerado como efeito do processo sobre a deslignificação, a interrelação entre estas duas variáveis pode ser considerada como uma forma de se avaliar a seletividade do processo de polpação.

As tabelas 34 e 35 apresentam a análise de variância e teste F respectivamente para rendimento depurado e análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada no processo de polpação para a espécie *A. aulacocarpa* (1).

Tabela 34 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. aulacocarpa* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	66,098520	13,219704	2,02	0,1115
Resíduo	24	156,875800	6,5364916		
Total	29	222,974320			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

O resultado da análise de variância para rendimento depurado de *A. aulacocarpa* (1) para as diferentes cargas de álcali ativo indica que não existe diferença significativa ao nível de 5%, entre as diferentes cargas de álcali.

No caso específico do rendimento depurado, os resultados obtidos em avaliações estatísticas devem ser avaliados com bastante atenção; em escala industrial, a variação de 1 ponto percentual em termos de rendimento depurado representa um impacto significativo na capacidade de produção de polpa celulósica bem como no custo de produção, basicamente em função do consumo específico de madeira.

Tabela 35 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. aulacocarpa* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	609,672066	121,934413	12,76	0,0001
Resíduo	24	229,308720	9,5545300		
Total	29	838,980786			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância para número kappa da espécie *A. aulacocarpa* (1) nas diferentes cargas de álcali ativo consideradas neste trabalho mostra que existe diferença estatística; considerando-se estes resultados realizaram-se análises de regressão polinomial para o número kappa em função da carga de álcali ativo e o modelo matemático que apresentou melhor ajuste foi o linear. Os coeficientes de ajuste do modelo matemático encontram-se apresentados na tabela 67 que reúne os modelos de número kappa de todos os materiais considerados neste trabalho.

Tabela 36 – Valores médios de polpação de *A. aulacocarpa* (2), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	57,46	56,62	0,84	27,42
	DP	1,86	2,41	0,67	3,50
	CV (%)	3,24	4,25	79,05	12,75
19,5	Média	54,91	54,44	0,46	25,60
	DP	2,61	2,65	0,27	4,23
	CV (%)	4,76	4,87	58,56	16,52
21,0	Média	55,61	55,23	0,38	22,28
	DP	2,65	2,66	0,17	2,44
	CV (%)	4,77	4,82	44,31	10,95
22,5	Média	54,98	52,99	1,99	21,60
	DP	2,96	1,64	3,42	3,06
	CV (%)	5,38	3,09	171,84	14,17
24,0	Média	55,17	55,09	0,04	17,49
	DP	1,56	1,57	0,01	1,96
	CV (%)	2,82	2,85	35,36	11,21
25,5	Média	53,77	54,14	0,04	16,51
	DP	1,26	1,12	0,04	1,67
	CV (%)	2,34	2,07	97,62	10,14

A demanda de carga de álcali ativo para produção de polpa celulósica com o número kappa $18 \pm 0,5$ para a espécie de *A. aulacocarpa* (2) foi de 24% com o rendimento depurado expressivo igual a 55,09%, demonstrando a alta qualidade desta procedência. Segundo Gomide et al. (2005) estudaram a alta qualidade tecnológica dos clones de *Eucalyptus* atualmente utilizados no Brasil pelas principais empresas produtoras de celulose kraft branqueada. Essa qualidade é comprovada pelo alto rendimento de polpação dos clones que apresentaram um rendimento médio de 52,9% e valores mínimos e máximos respectivamente iguais a 50,0% e 57,6%.

Os dados de rendimento depurado e análise do número kappa foram submetidos à análise de variância e teste F e correspondem respectivamente as tabelas 37 e 38.

Tabela 37 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. aulacocarpa* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	36,948346	7,389669	1,35	0,2785
Resíduo	24	131,557520	5,481563		
Total	29	168,505866			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Os resultados da análise de variância apresentados na tabela 37 mostram que não existe diferença estatística para rendimento depurados da espécie *A. aulacocarpa* (2), considerando as diferentes cargas de álcali ativo.

Tabela 38 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. aulacocarpa* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	464,353216	92,870643	8,56	0,0001
Resíduo	24	260,428280	10,851178		
Total	29	724,781496			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Os resultados dos ajustes das análises do número kappa para diferentes cargas de álcali ativo para espécie *A. aulacocarpa* (1) e *A. aulacocarpa* (2) foram plotados em gráfico representado pela figura 15.

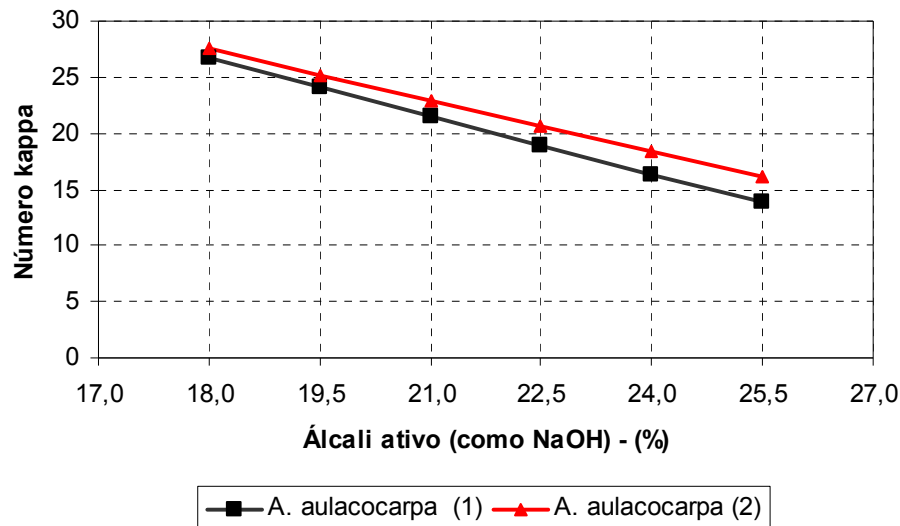


Figura 15 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de *A. aulacocarpa*

Os resultados da figura 15 mostram o efeito da carga alcalina sobre a eficiência de deslignificação sobre as espécies *A. aulacocarpa*. Segundo Silva Júnior (2005), que trabalhou com espécies de *E. grandis* e *P. tremuloides*, constatou que o aumento da carga alcalina leva a uma intensificação das reações de deslignificação que se expressa através da redução do número kappa. Ainda com relação a carga alcalina, observou-se que o aumento desta promoveu uma redução da amplitude dos valores de número kappa entre as espécies consideradas em seu trabalho.

O número kappa é um parâmetro relevante para o processo de produção da polpa celulósica branqueada, uma vez que o mesmo é um indicativo da quantidade de lignina presente na polpa, determinando a estratégia envolvida na fase de branqueamento, quanto do desenvolvimento de seqüências. O número kappa é uma variável pré-estabelecida no processo industrial, a qual exerce influência sobre rendimento do processo e propriedades da polpa celulósica. Silva Júnior (2005)

considera as características da matéria-prima madeira como teor de lignina, teor de extrativos, densidade básica e a espessura dos cavacos influenciam diretamente o número kappa da polpa.

Tabela 39 – Valores médios de polpação de *A. auriculiformis* (1), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	58,36	53,88	4,49	30,14
	DP	4,21	3,33	2,96	4,06
	CV (%)	7,21	6,19	66,01	13,46
19,5	Média	54,29	51,93	2,36	27,76
	DP	3,48	3,58	0,81	4,41
	CV (%)	6,41	6,90	34,41	15,89
21,0	Média	54,73	53,77	0,96	23,82
	DP	1,61	1,42	0,51	3,49
	CV (%)	2,95	2,64	52,50	14,65
22,5	Média	53,87	51,17	2,71	25,84
	DP	3,39	3,47	3,60	7,13
	CV (%)	6,28	6,77	132,89	27,59
24,0	Média	52,50	52,43	0,06	16,97
	DP	2,35	2,37	0,06	1,41
	CV (%)	4,48	4,53	90,32	8,32
25,5	Média	52,85	52,75	0,10	16,43
	DP	1,39	1,46	0,08	1,53
	CV (%)	2,63	2,77	77,28	9,30

Constatou-se que para espécie *A. auriculiformis* (1) igual tendência estabelecida para a espécie *A. aulacocarpa*, procedências (1 e 2) de aumento do nível de álcali dos cozimentos tem-se um incremento do nível de deslignificação e conseqüentemente, redução do número kappa, dos rendimentos (brutos e depurados) e do teor de rejeitos.

A espécie *A. auriculiformis* (1) foi a segunda espécie que apresentou maior porcentagem de rejeito, principalmente quando submetida a baixa carga de álcali ativo (18,0 %) obtendo valor igual a 4,49%. Na produção de polpas não-branqueáveis, o parâmetro rendimento bruto pode ser considerado de maior importância em relação ao rendimento depurado, pois em polpas que serão destinadas ao branqueamento, os rejeitos são totalmente indesejáveis ao processo, uma vez que representam materiais com maior teor de lignina e implicando numa maior quantidade de químicos no branqueamento.

Através de modelos matemáticos ajustados, determinou-se a carga alcalina e o rendimento depurado para um o número kappa $18 \pm 0,5$ e obteve-se respectivamente de 24,7% e 52,28%: estes valores encontram-se representados na tabela 68.

Foram analisadas estatisticamente os dados de rendimento depurado e análise do número kappa em função da carga alcalina (apresentados respectivamente nas tabelas 40 e 41) e submetidos à análise de variância.

Tabela 40 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. auriculiformis* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	27,658030	5,531606	0,58	0,7145
Resíduo	24	228,690320	9,528763		
Total	29	256,348350			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Constatou-se através da tabela 40 que a análise de variância para espécie *A. auriculiformis* (1) nas diferentes cargas de álcali ativo estabelecidas neste trabalho não foi significativa para o parâmetro rendimento depurado, como ocorreu para *A. aulacocarpa* (1). Dentro de um processo industrial de polpação química o rendimento é,

sem dúvida, uma das variáveis de maior impacto econômico. Santos (2000) considera que estimar o rendimento final de polpa não-branqueada é um importante indicador do ponto de vista econômico ou tecnológico.

Santos (2000), cita em seu trabalho que o custo de conversão de madeira verde para polpa kraft não-branqueada, em relação à densidade básica e rendimento e observou que o rendimento é o fator de maior efeito sobre o custo da deslignificação, porém, o grau de influência depende do valor energético produzido pela caldeira de recuperação, alto valor energético reduz a influência do rendimento.

Tabela 41 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. auriculiformis* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	801,921200	160,384224	7,46	0,0002
Resíduo	24	516,289920	21,512080		
Total	29	1318,21110			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância mostrou efeito significativo para diferentes cargas de álcali ativo na análise de número kappa para espécie de *A. auriculiformis* (1). São apresentados na tabela 67 os coeficientes de ajuste do modelo matemático para o número kappa.

Tabela 42 – Valores médios de polpação de *A. auriculiformis* (2), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	57,14	53,82	2,95	26,54
	DP	2,17	2,67	1,95	1,79
	CV (%)	3,80	4,96	66,17	6,75
19,5	Média	56,40	53,01	3,40	24,64
	DP	2,62	3,33	3,20	5,30
	CV (%)	4,64	6,28	94,12	21,52
21,0	Média	54,97	54,12	0,85	20,60
	DP	4,86	4,90	0,14	1,95
	CV (%)	8,83	9,06	16,54	9,47
22,5	Média	54,23	53,33	0,90	17,86
	DP	3,07	2,79	0,42	1,34
	CV (%)	5,65	5,23	46,79	7,48
24,0	Média	54,32	54,27	0,05	16,75
	DP	0,72	0,70	0,04	0,73
	CV (%)	1,32	1,30	81,95	4,34
25,5	Média	53,14	53,14	0,00	14,76
	DP	0,68	0,68	0,00	0,94
	CV (%)	1,27	1,28	200,00	6,40

Sabe-se que a carga de álcali ativo apresenta efeito direto sobre a intensidade das reações de deslignificação; nos resultados apresentados na tabela 42 pode ser observado que a espécie *A. auriculiformis* (2), apresentou bom desempenho de deslignificação com a carga de álcali ativo de 22,5% obtendo um rendimento depurado médio de 53,33% e o teor de rejeito de 0,90%. O coeficiente de variação observado para a carga de álcali em discussão pode ser considerado baixo, indicando uma homogeneidade do material.

Os resultados apresentados nas tabelas 43 e 44 foram analisados estatisticamente para determinar se existem diferenças para as análises de rendimento depurado e número kappa para as diferentes cargas de álcali ativo da espécie de *A. auriculiformis* (2).

Tabela 43 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. auriculiformis* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	7,070920	1,414184	0,13	0,9832
Resíduo	24	255,072800	10,628033		
Total	29	262,1437200			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância para rendimento depurado nas diferentes cargas de álcali ativo para a espécie *A. auriculiformis* (2) não foram significativas. De acordo com Bassa et al. (2007) o rendimento em polpa é uma característica de extrema importância em uma unidade industrial, pois tem efeito sobre a geração de sólidos, sobre o consumo específico de madeira e, conseqüentemente, sobre os custos de produção.

Tabela 44 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. auriculiformis* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	535,282176	107,056435	13,40	0,0001
Resíduo	24	191,701040	7,987543		
Total	29	726,983216			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

A análise de variância para número kappa para a espécie *A. auriculiformis* (2) mostra que existe diferença estatística nas diferentes cargas de álcali ativo. Estabeleceu-se análise de regressão polinomial para número kappa em função da carga de álcali ativo e adotou-se o modelo linear por ser de melhor ajuste.

Tabela 45 – Valores médios de polpação de *A. auriculiformis* (3), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	58,73	57,48	1,25	28,90
	DP	2,12	2,48	0,68	2,92
	CV (%)	3,62	4,32	54,04	10,11
19,5	Média	55,03	54,24	0,79	26,52
	DP	6,52	6,31	0,91	3,12
	CV (%)	11,86	11,63	116,33	11,77
21,0	Média	51,60	51,34	0,26	22,62
	DP	6,79	6,71	0,20	3,04
	CV (%)	13,16	13,07	75,69	13,42
22,5	Média	54,95	54,82	0,13	19,90
	DP	2,01	1,98	0,09	2,04
	CV (%)	3,65	3,61	71,84	10,23
24,0	Média	54,70	54,68	0,03	17,78
	DP	1,06	1,05	0,02	0,91
	CV (%)	1,94	1,91	51,64	5,10
25,5	Média	53,01	52,99	0,02	16,02
	DP	1,33	1,33	0,01	0,73
	CV (%)	2,51	2,51	53,01	4,57

Observa-se que a madeira de *A. auriculiformis* (3) apresenta a melhor performance frente ao processo kraft de polpação entre as espécies de *A. auriculiformis*, com resultados médio de: rendimento depurado de 54,68%, baixo teor de rejeito de 0,03% e número kappa de 17,78, considerando a carga de álcali ativo igual a 24,0%. Cáceres (1983), em estudo preliminar sobre cinco espécies de *Eucalyptus* (*E. globulus*, *E. saligna*, *E. citriodora*, *E. tereticornis*, *E. grandis*), aos nove anos de idade, como possíveis fontes de polpas químicas celulósicas, observou que o *E. globulus*, possuindo densidade básica a 0,570 g/cm³ e o menor teor de lignina (22,9%),

comparado às demais espécies estudadas, alcançou o melhor rendimento de 53,0%. Estas informações são condizentes com os resultados encontrados para a espécie *A. auriculiformis* (3) que apresentou alta densidade básica da madeira ($0,523 \text{ g/cm}^3$), um dos menores valores de lignina total entre todas as procedências avaliadas (igual a 26,14%) e um dos melhores resultados para o rendimento depurado (54,68%).

Aplicou-se análise de variância e teste F para rendimento depurado e análise do número kappa respectivamente para diferentes cargas alcalinas para espécie de *A. auriculiformis* (3).

Tabela 46 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. auriculiformis* (3)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	104,935826	20,967153	1,03	0,4220
Resíduo	24	468,542920	20,355955		
Total	29	593,478746			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

O resultado da análise de variância para rendimento depurado de *A. auriculiformis* (3) para diferentes cargas de álcali ativo indica que não existe diferença significativa ao nível de 5%, entre as diferentes cargas de álcali ativo.

Tabela 47 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. auriculiformis* (3)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	631,996906	126,399381	18,39	0,0001
Resíduo	24	164,995160	6,874798		
Total	29	796,992066			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

A figura 16 ilustra os efeitos da carga alcalina sobre o número kappa para espécie *A. auriculiformis*, procedências (1, 2 e 3).

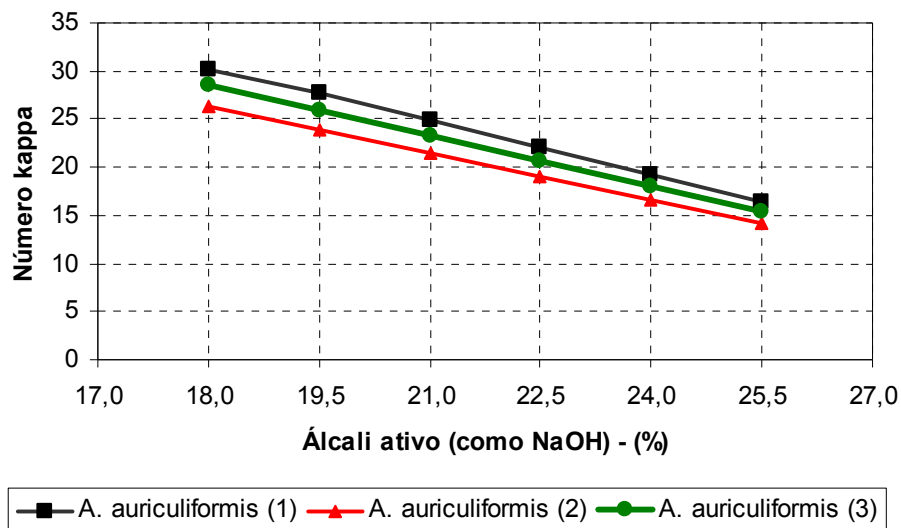


Figura 16 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de *A. auriculiformis*

Os resultados apresentados na figura 16 mostram que a espécie de *A. auriculiformis* (2) apresenta menor número kappa em diferentes cargas de álcali ativo quando comparado as procedências (1 e 3). Os resultados mostram ainda que as distintas procedências apresentaram um comportamento muito influenciado pela carga de álcali ativo, indicando uma possível interação entre as procedências e as cargas de álcali ativo.

Tabela 48 – Valores médios de polpação de *A. crassicarpa* (1), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	58,65	54,86	3,78	36,48
	DP	3,86	1,81	2,30	3,00
	CV (%)	6,58	3,30	60,82	8,22
19,5	Média	55,41	53,79	1,62	33,70
	DP	2,53	1,96	0,65	4,57
	CV (%)	4,57	3,64	39,80	13,56
21,0	Média	53,87	52,93	0,94	30,44
	DP	1,78	1,64	0,68	5,62
	CV (%)	3,31	3,10	71,84	18,46
22,5	Média	52,39	51,83	0,57	27,54
	DP	2,38	2,18	0,38	5,50
	CV (%)	4,55	4,21	66,44	19,97
24,0	Média	52,19	52,06	0,13	22,53
	DP	0,47	0,49	0,09	0,55
	CV (%)	0,91	0,94	74,18	2,43
25,5	Média	51,16	51,07	0,08	20,58
	DP	1,10	1,08	0,07	1,21
	CV (%)	2,15	2,11	79,54	5,86

Nota-se pelos resultados obtidos frente ao processo kraft de polpação da espécie *A. crassicarpa* (1) foi a que exigiu a maior demanda de carga de álcali ativo para produção de polpa celulósica com o número kappa de $18,0 \pm 0,5$ e conseqüentemente a que apresentou o rendimento depurado mais inexpressível entre todas as procedências de 51,07 % e o número kappa de 20,58 para uma carga de álcali ativo de 25,5%, lembrando que grandes cargas alcalinas trazem maiores danos na degradação dos carboidratos.

As madeiras com alto teor de lignina são freqüentemente difíceis de deslignificar, necessitando de altas cargas de álcali e longos tempos de reação. Collins et al. (1990), consideram que o rendimento é menor para polpação com alta carga alcalina. Uma possível explicação para este efeito é que os polissacarídeos sofrem grande dissolução em licores com alta concentração de álcali.

O aumento da carga alcalina na polpação proporciona redução significativa do rendimento gravimétrico do processo de polpação. Tal fato acontece, no caso de madeiras de folhosas, devido à degradação das xilanas, as quais são sensíveis ao aumento da carga alcalina, prejudicando a seletividade da polpação (Santos, 2005).

Segundo Gomide (1979) e citado por Santos (2005), os carboidratos, tanto a celulose como as hemiceluloses, podem ser muito instáveis, em soluções alcalinas. Durante a polpação alcalina, ocorrem quebras hidrolíticas das ligações glucosídicas, causando a separação dos grupos ou cadeias laterais e a quebra das cadeias principais dos carboidratos. Essas reações de degradação resultam na formação de compostos solúveis de baixas massas moleculares e, conseqüentemente, num decréscimo do rendimento.

Os dados de rendimento depurado e número kappa (representados nas tabelas 49 e 50 respectivamente), foram submetidos à análise de variância para verificar se existem diferenças estatísticas para estes parâmetros em diferentes cargas de álcali ativo.

Tabela 49 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. crassicarpa* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	48,648400	9,729680	2,93	0,0335
Resíduo	24	79,802520	3,325105		
Total	29	128,450920			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Tabela 50 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. crassicarpa* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	968,803750	193,760750	9,95	0,0001
Resíduo	24	467,160000	19,455000		
Total	29	1435,963750			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Os dados na tabela 49 para rendimento depurado e na tabela 50 para número kappa nas diferentes cargas de álcali ativo foram significativos, realizou-se análise de regressão polinomial para determinação do modelo matemático para rendimento depurado (tabela 66) e para o número kappa (tabela 67).

Tabela 51 – Valores médios de polpação de *A. crassicarpa* (2), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	62,12	59,17	2,95	37,76
	DP	2,59	1,63	3,03	9,58
	CV (%)	4,17	2,76	102,88	25,37
19,5	Média	60,18	59,11	1,07	32,01
	DP	2,05	1,84	0,90	6,54
	CV (%)	3,41	3,12	84,54	20,44
21,0	Média	58,55	57,71	0,84	30,20
	DP	1,72	1,56	0,62	5,35
	CV (%)	2,94	2,70	73,47	17,70
22,5	Média	57,52	56,96	0,56	26,83
	DP	1,30	1,10	0,43	5,62
	CV (%)	2,26	1,92	77,57	20,95
24,0	Média	54,60	54,55	0,04	15,55
	DP	1,13	1,14	0,03	1,79
	CV (%)	2,07	2,09	61,99	11,52
25,5	Média	52,93	52,91	0,02	15,23
	DP	1,68	1,68	0,01	0,81
	CV (%)	3,18	3,18	70,71	5,29

Através da curva de polpação foi possível determinar a demanda de carga de álcali ativo para produção de polpa com o número kappa $18 \pm 0,5$ para a espécie *A. crassicarpa* (2), sendo estimado o valor do álcali ativo de 24,4% e do rendimento depurado de 54,45%, estes valores estão representados na tabela 68.

Os resultados obtidos para espécie de *A. crassicarpa* procedências (1 e 2), para rendimentos depurados e números kappa mostram um comportamento distinto entre ambos. Para *A. crassicarpa* (2), os resultados indicam que a elevação da carga alcalina

apresentou efeito significativo no decréscimo do rendimento depurado, o que pode estar relacionado à remoção de polissacarídeos, principalmente as hemiceluloses.

As tabelas 52 e 53 apresentam a análise de variância e teste F para rendimento depurado e análise de número kappa respectivamente em função da carga alcalina aplicada no processo de polpação para espécie *A. crassicarpa* (2).

Tabela 52 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. crassicarpa* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	160,119560	32,023912	11,12	0,0001
Resíduo	24	69,117960	2,879915		
Total	29	229,237520			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Tabela 53 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. crassicarpa* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	2087,837530	417,567560	10,09	0,0001
Resíduo	24	993,0392000	41,376633		
Total	29	3080,878300			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

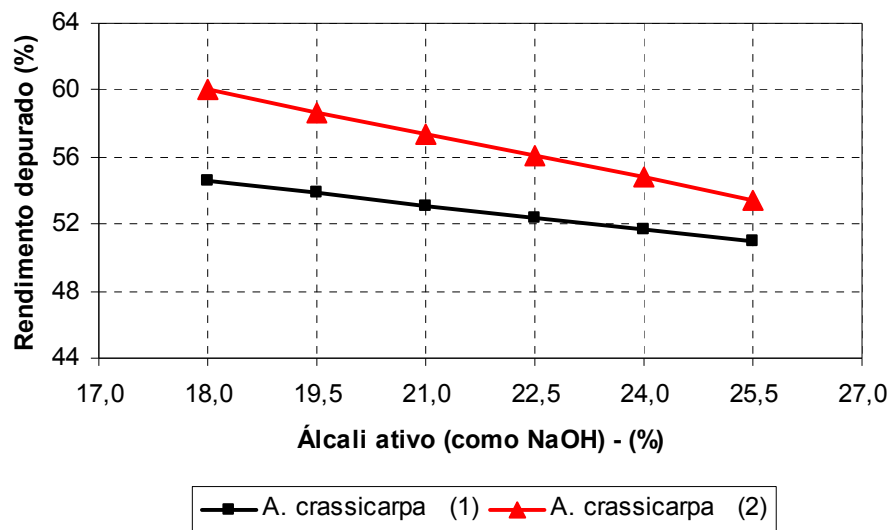


Figura 17 – Efeito da carga alcalina sobre o rendimento depurado para espécie de *A. crassicarpa*

Os resultados apresentados na figura 17 mostram uma tendência de aproximação de rendimento depurado quando as cargas de álcali ativo são mais intensas para as distintas procedências (1 e 2) da espécie *A. crassicarpa*.

O aumento da carga alcalina leva a uma redução no rendimento depurado; esta redução está associada a degradação dos carboidratos uma vez que os reagentes químicos utilizados no processo de polpação não são específicos para remoção de lignina.

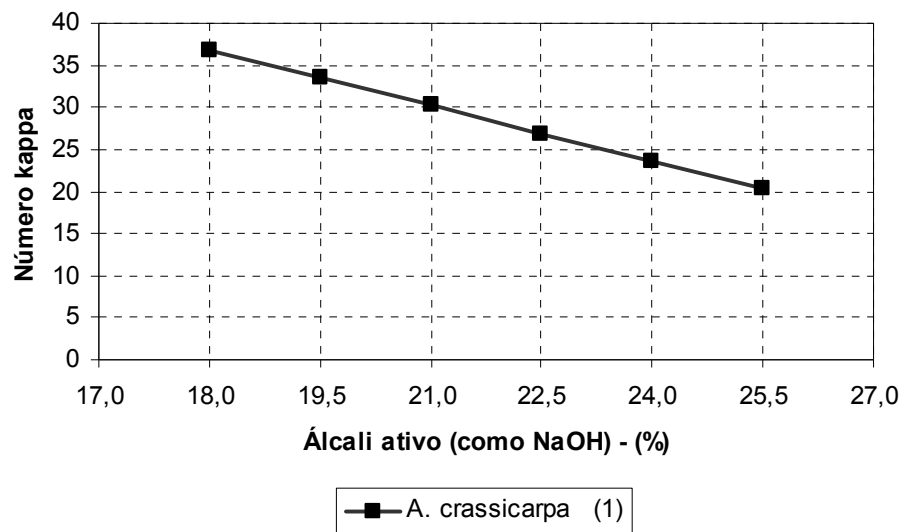


Figura 18 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de *A. crassicarpa*

O gráfico apresentado na figura 18 mostra que para a espécie *A. crassicarpa* (1), a existência de uma relação linear decrescente entre o número kappa e a carga de álcali ativo.

Tabela 54 – Valores médios de polpação de *A. mangium* (1), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	65,88	59,97	5,91	60,06
	DP	1,52	1,71	1,79	4,69
	CV (%)	2,30	2,84	30,19	7,81
19,5	Média	62,83	60,79	2,03	48,58
	DP	0,71	1,57	1,45	4,38
	CV (%)	1,13	2,58	71,20	9,02
21,0	Média	61,22	60,40	0,82	36,11
	DP	2,31	2,40	0,46	5,05
	CV (%)	3,77	3,97	56,40	13,98
22,5	Média	59,19	58,85	0,35	29,43
	DP	0,77	0,77	0,16	3,65
	CV (%)	1,31	1,30	46,06	12,42
24,0	Média	55,11	55,04	0,07	18,14
	DP	1,72	1,71	0,12	2,14
	CV (%)	3,11	3,11	171,35	11,82
25,5	Média	54,61	54,53	0,08	15,32
	DP	1,70	1,71	0,14	1,45
	CV (%)	3,12	3,13	176,12	9,45

A espécie *A. mangium* 1 apresentou rendimento depurado alto, atingindo 55,04%. Esse rendimento pode ser relacionado com a menor densidade básica média para todas as espécies e procedências (0,357 g/cm³). A carga de 24,0% propiciou um bom rendimento e um baixo teor de rejeito de 0,07%, nestas condições o número kappa determinado foi 18,14.

Aplicou-se análise de variância e teste F para rendimento depurado e análise de número kappa, representados nas tabelas 55 e 56 respectivamente, considerando as distintas cargas de álcali ativo usadas neste trabalho para espécie *A. mangium* (1).

Tabela 55 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	192,738866	38,547773	10,54	0,0001
Resíduo	24	87,735080	3,655628		
Total	29	280,473946			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Tabela 56 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (1)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	7575,762456	1515,152491	83,86	0,0001
Resíduo	24	433,645280	18,068553		
Total	29	8009,407736			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

As análises de variâncias apresentadas nas tabelas 55 e 56 mostram que existem diferenças estatísticas significativas para rendimento depurado e número kappa respectivamente para a espécie de *A. mangium* (1) entre as diferentes cargas de álcali ativo sendo então realizadas as análises de regressões polinomiais cujos resultados encontram-se sumarizados nas tabelas 66 e 67.

Tabela 57 – Valores médios de polpação de *A. mangium* (2), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	61,14	60,56	0,59	27,99
	DP	2,29	2,38	0,25	1,65
	CV (%)	3,75	3,94	42,88	5,90
19,5	Média	55,57	55,17	0,41	25,08
	DP	4,97	4,81	0,21	2,56
	CV (%)	8,95	8,72	50,26	10,20
21,0	Média	59,22	58,68	0,54	24,82
	DP	1,85	1,49	0,58	4,91
	CV (%)	3,13	2,54	107,12	19,78
22,5	Média	56,81	56,58	0,22	19,42
	DP	1,77	1,86	0,18	1,56
	CV (%)	3,12	3,28	80,39	8,04
24,0	Média	55,75	55,73	0,02	16,37
	DP	0,35	0,35	0,02	1,18
	CV (%)	0,63	0,63	88,89	7,21
25,5	Média	54,75	54,69	0,05	15,14
	DP	0,60	0,61	0,06	0,77
	CV (%)	1,10	1,12	110,24	5,07

A espécie *A. mangium* (2) apresenta um perfil semelhante a *A. mangium* (1), com densidade básica da madeira baixo ($0,384 \text{ g/cm}^3$) e com carga de álcali ativo estimado de 23,7% e rendimento depurado estimado de 55,8% através da curva de polpação para o número kappa $18,0 \pm 0,5$.

Os dados de rendimento depurado e análise de número kappa para diferentes cargas alcalinas foram submetidas à análise de variância e correspondem respectivamente as tabelas 58 e 59.

Tabela 58 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	129,518960	25,903792	3,55	0,0151
Resíduo	24	174,895920	7,287330		
Total	29	304,414880			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Tabela 59 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (2)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	684,736910	136,947382	17,39	0,0001
Resíduo	24	188,976560	7,874023		
Total	29	873,713470			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Constatou-se que houve diferença significativa ao nível de 5%, entre as cargas de álcali ativo para rendimento depurado e número kappa para a espécie de *A. mangium* (2), apresentados nas tabelas 58 e 59. Os melhores ajustes estatísticos para rendimento depurado e número kappa foram obtidos através de regressões lineares demonstradas na tabelas 66 e 67.

Tabela 60 – Valores médios de polpação de *A. mangium* (3), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	59,86	59,43	0,44	25,77
	DP	0,72	0,67	0,26	4,16
	CV (%)	1,20	1,12	57,81	16,13
19,5	Média	58,57	58,42	0,14	23,75
	DP	2,62	2,49	0,14	2,86
	CV (%)	4,47	4,26	100,21	12,05
21,0	Média	56,70	56,60	0,09	22,52
	DP	2,06	2,05	0,06	1,41
	CV (%)	3,64	3,62	68,81	6,25
22,5	Média	56,73	56,69	0,04	19,22
	DP	0,71	0,70	0,03	2,33
	CV (%)	1,25	1,24	68,92	12,10
24,0	Média	54,44	54,43	0,01	16,63
	DP	2,48	2,48	0,01	1,68
	CV (%)	4,55	4,55	109,54	10,11
25,5	Média	55,11	55,10	0,02	15,25
	DP	1,26	1,26	0,02	2,11
	CV (%)	2,29	2,28	101,55	13,87

A espécie de *A. mangium* (3), apresentou um bom desempenho de polpação independente da carga alcalina, com rendimentos depurados superiores a 55,10% e teores de rejeitos baixos em média de 0,12%. Através da curva de polpação determinou-se a carga alcalina 23,5% e o rendimento depurado de 55,66%.

Foram analisadas estatisticamente os dados de rendimento depurado e análise do número kappa em função da carga alcalina (apresentados respectivamente nas tabelas 61 e 62) e submetidos à análise de variância e teste F.

Tabela 61 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (3)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	90,333466	18,066693	4,55	0,0046
Resíduo	24	95,219320	3,967471		
Total	29	185,552778			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

Tabela 62 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (3)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	433,270790	86,654180	10,36	0,0001
Resíduo	24	200,783160	8,365965		
Total	29	634,053950			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Pr = probabilidade de F significativo

As análises de variância para rendimento depurado (representada na tabela 60) e número kappa (representada na tabela 61) mostram que existem diferenças estatística significativa para diferentes cargas de álcali ativo para espécie *A. mangium* (3) sendo então realizadas as análises de regressão lineares cujos os resultados foram apresentados nas tabelas 66 e 67, seguindo a ordem rendimento depurado e número kappa.

Tabela 63 – Valores médios de polpação de *A. mangium* (4), desvio padrão e coeficiente de variação

AA(%)	Parâmetros	RB (%)	RD (%)	T. REJ. (%)	Kappa
18,0	Média	60,04	59,81	0,23	25,91
	DP	0,80	0,73	0,13	1,44
	CV (%)	1,33	1,23	54,79	5,55
19,5	Média	59,54	59,38	0,16	23,38
	DP	1,28	1,36	0,09	1,28
	CV (%)	2,16	2,29	57,99	5,49
21,0	Média	58,45	58,26	0,18	20,75
	DP	0,78	0,88	0,17	1,87
	CV (%)	1,34	1,52	94,17	9,01
22,5	Média	57,15	57,12	0,03	18,49
	DP	0,74	0,75	0,03	1,81
	CV (%)	1,29	1,31	89,44	9,78
24,0	Média	53,05	53,02	0,03	16,00
	DP	2,96	2,95	0,03	1,00
	CV (%)	5,58	5,56	104,91	6,23
25,5	Média	54,02	53,94	0,27	13,53
	DP	3,03	3,06	0,33	0,97
	CV (%)	5,62	5,67	121,63	7,14

Os resultados apresentados na tabela 63 mostram que a espécie de *A. mangium* (4) apresenta um rendimento depurado excepcionalmente alto, atingindo 57,12%, com baixo teor de rejeito 0,03% e o número kappa dentro da faixa de $18 \pm 0,5$, sendo o valor de 18,4, sendo este o material o que apresentou a melhor desempenho frente ao processo kraft de polpação exigindo a menor carga de álcali ativo e o rendimento depurado mais expressivo.

Tabela 64 – Análise de variância e Teste F para rendimento depurado em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (4)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	201,646346	40,329269	8,90	0,0001
Resíduo	24	108,761040	4,531710		
Total	29	310,407386			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

Tabela 65 – Análise de variância e Teste F para análise do número kappa em função da carga alcalina aplicada para espécie de *A. mangium* (4)

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Carga alcalina	5	532,298320	106,459664	41,20	0,0001
Resíduo	24	62,008600	2,583691		
Total	29	594,306920			

GL= graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio;
Pr = probabilidade de F significativo

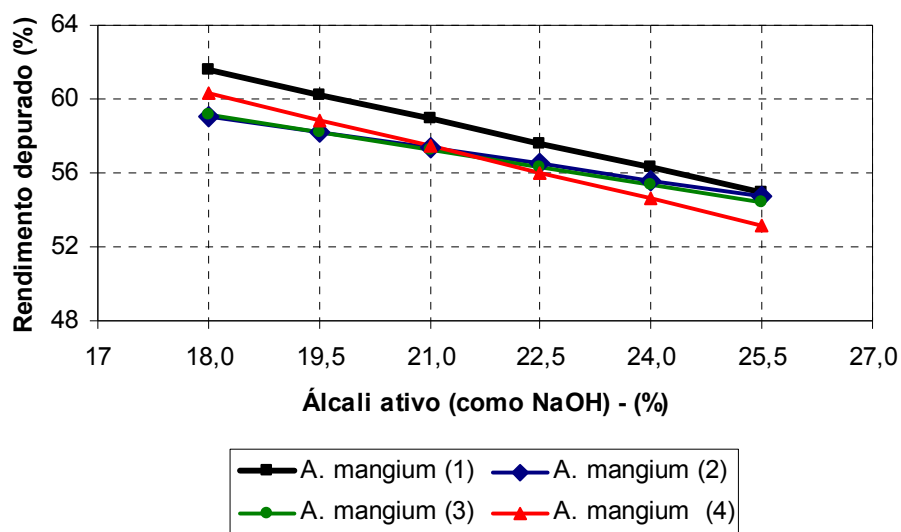


Figura 19 – Efeito da carga alcalina sobre o rendimento depurado para espécie de *A. mangium*

Verifica-se, na figura 19 que os rendimentos depurados para a espécie *A. mangium* mostram-se semelhantes, principalmente entre as procedências (2 e 3), exigindo o mesmo nível de álcali ativo para o mesmo nível de deslignificação, tendo este fator influência no rendimento de polpa celulósica, uma vez que a deslignificação para essas matérias-primas foi mais branda com menor degradação dos carboidratos.

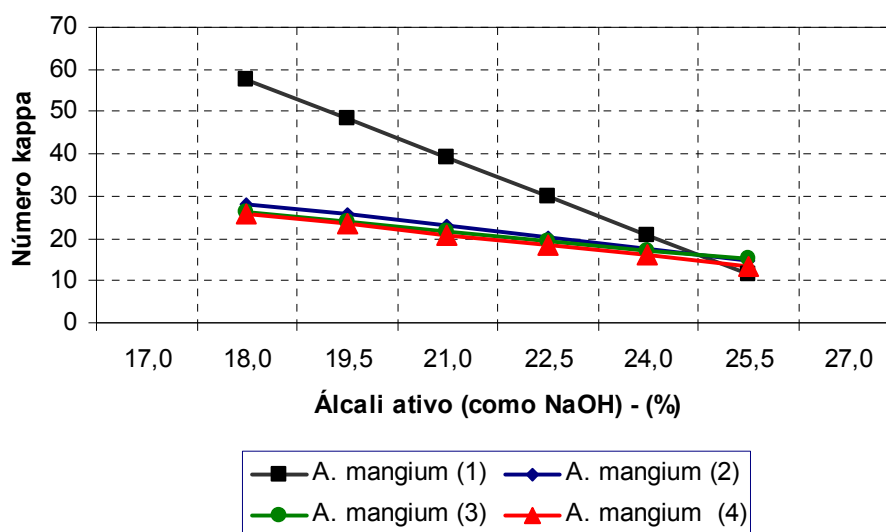


Figura 20 – Efeito da carga alcalina sobre o número kappa para espécie de *A. mangium*

A exemplo do que foi observado na figura 20 sobre o efeito da carga alcalina com relação ao número kappa para a espécie *A. mangium* uma tendência geral de apresentarem um comportamento muito influenciado pela carga de álcali ativo entre as procedências (2, 3 e 4). Com relação a procedência (1), nota-se que houve uma menor deslignificação comparando com as demais procedências.

Considerando as densidades básicas para a espécie *A. mangium* que apresentaram os menores valores entre todas as espécies consideradas neste trabalho notou-se uma tendência das árvores com densidade menores produzirem polpas com menores números kappa. Mortha(1992), trabalhando com híbridos *Poplar*, cita que uma menor densidade básica da madeira diminui as limitações de difusão da lignina para fora dos cavacos, resultando em maior velocidade de deslignificação.

As tabelas 66 e 67 apresentam os resumos dos modelos de equação do rendimento depurado e do número kappa das espécies de *Acacia* avaliadas nesse trabalho. Nelas podem-se visualizar os resultados das análises de variância (significativo ou não), o modelo ajustado, com seus parâmetros a e b e os resultados de correlação obtidos.

Tabela 66 – Modelos de equação do rendimento depurado das espécies de *Acacia*

Espécie	Anova	Modelo ajustado	a	b	R²
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	significativo	–	–	–	–
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	não significativo	–	–	–	–
<i>A. auriculiformis</i> (1)	não significativo	–	–	–	–
<i>A. auriculiformis</i> (2)	não significativo	–	–	–	–
<i>A. auriculiformis</i> (3)	não significativo	–	–	–	–
<i>A. crassicarpa</i> (1)	significativo	$Y = a + bx$	63,219200	-0,481067	93,66
<i>A. crassicarpa</i> (2)	significativo	$Y = a + bx$	75,695371	-0,871695	93,43
<i>A. mangium</i> (1)	significativo	$Y = a + bx$	77,323467	-0,876267	78,43
<i>A. mangium</i> (2)	significativo	$Y = a + bx$	69,219543	-0,566324	48,75
<i>A. mangium</i> (3)	significativo	$Y = a + bx$	70,662876	-0,638324	88,80
<i>A. mangium</i> (4)	significativo	$Y = a + bx$	77,457638	-0,944229	87,05

Onde: Y = parâmetro a ser estimado e x = % álcali ativo

Tabela 67– Modelos de equação do número kappa das espécies de *Acacia*

Espécie	Anova	Modelo ajustado	a	b	R²
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	significativo	$Y = a + bx$	57,954495	-1,732038	96,87
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	significativo	$Y = a + bx$	54,779390	-1,515543	97,38
<i>A. auriculiformis</i> (1)	significativo	$Y = a + bx$	64,458571	-1,883429	87,09
<i>A. auriculiformis</i> (2)	significativo	$Y = a + bx$	55,537695	-1,625105	97,13
<i>A. auriculiformis</i> (3)	significativo	$Y = a + bx$	60,627752	-1,777981	98,48
<i>A. crassicarpa</i> (1)	significativo	$Y = a + bx$	76,564857	-2,207810	99,06
<i>A. crassicarpa</i> (2)	não significativo	-	-	-	-
<i>A. mangium</i> (1)	significativo	$Y = a + bx$	167,87259	-6,127276	97,57
<i>A. mangium</i> (2)	significativo	$Y = a + bx$	61,131886	-1,823581	85,61
<i>A. mangium</i> (3)	significativo	$Y = a + bx$	52,545143	-1,472190	98,48
<i>A. mangium</i> (4)	significativo	$Y = a + bx$	55,433829	-1,644038	99,97

Onde: Y = parâmetro a ser estimado e x = % álcali ativo

A tabela 68 apresenta a relação de carga alcalina e rendimento depurado para número kappa 18 e o consumo de madeira por tonelada de polpa celulósica seca produzida.

Tabela 68 – Relação carga alcalina e rendimento depurado para número kappa 18 e consumo de madeira por tonelada de polpa seca produzida.

Espécie	AA (NaOH) - %	RD kappa 18	TSS/odt	M ³ madeira/	IMACEL	IMACEL
				ton polpa (odt)	(c/ casca) odt/ha/ano	(s/ casca*) odt/ha/ano
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	23,1	56,54	1,18	3,60	7,28	6,19
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	24,0	55,09	1,25	4,00	6,13	5,21
<i>A. auriculiformis</i> (1)	24,7	52,28	1,39	3,92	7,18	6,11
<i>A. auriculiformis</i> (2)	23,1	53,61	1,30	3,64	7,19	6,11
<i>A. auriculiformis</i> (3)	24,0	54,68	1,27	3,48	7,01	5,96
<i>A. crassicarpa</i> (1)	26,5	50,46	1,51	3,75	9,77	8,30
<i>A. crassicarpa</i> (2)	24,4	54,45	1,28	3,92	5,16	4,38
<i>A. mangium</i> (1)	24,0	55,04	1,25	5,09	8,24	7,00
<i>A. mangium</i> (2)	23,7	55,80	1,22	4,67	8,71	7,40
<i>A. mangium</i> (3)	23,5	55,66	1,22	4,36	7,17	6,09
<i>A. mangium</i> (4)	22,5	57,12	1,14	3,78	7,12	6,06

IMACEL (s/casca*) – odt/ha/ano: considerando 15% de volume de casca.

Os menores consumos específicos de madeira foram obtidos com espécies de madeiras mais densas (*A. auriculiformis* (2), *A. auriculiformis* (3) e *A. crassicarpa* (1)). Usualmente, a madeira é comprada e transportada em termos de volume. Quanto maior for a densidade básica, maior será o peso seco de madeira por carga e menor será o custo variável da produção de celulose. Dentre as quatro espécies de *Acacia* com as distintas procedências estudadas, destacam-se como potencial tecnológico as madeiras da espécie de *A. crassicarpa* (1) e *A. mangium*, procedências (1 e 2) com densidades básicas menores respectivamente (0,528 g/cm³; 0,357g/cm³ e 0,384 g/cm³) que mesmo tendo rendimentos comparativamente menores, apresentaram maior produtividade IMACEL (odt/ha/ano). Os resultados indicam que as madeiras de menor densidade básica tendem a proporcionar maiores rendimentos gravimétricos, confirmando informações da literatura (FOELKEL, 1997; WEHR et al., 1994). O maior destaque entre as espécies estudadas com relação ao valor encontrado para o IMACEL

foi para a *A. crassicarpa*, procedência (1), sendo o IMACEL igual a 9,77 e 8,30 odt/ha/ano (com e sem casca, respectivamente).

Considerando-se isoladamente a densidade básica e considerando-se seu impacto sobre o processo de produção de polpa celulósica, valores baixos para este parâmetro implicam em menor produtividade industrial, uma vez que os digestores apresentam um volume útil determinado e madeiras com menor densidade representam menor massa de madeira por unidade de volume de digestor. Considerando-se unicamente a densidade básica, a madeira da espécie *A. mangim*, quando utilizada para produção de celulose pode resultar em um maior consumo volumétrico de madeira quando comparada com a espécie *A. crassicarpa*. Por outro lado, uma menor densidade básica pode implicar em um maior rendimento gravimétrico, sendo que este fator, por sua vez, é dependente não só da densidade básica da madeira, mas também da composição química da mesma.

Apostando no potencial encontrado entre as distintas espécies de *Acacia*, principalmente no que se refere ao rendimento frente ao processo kraft de polpação a madeira de *A. mangium* apresentou um ótimo resultado e a espécie de *A. crassicarpa*, procedência (1) teve grande destaque quanto ao IMACEL. Neste contexto, sugere-se enfoque em trabalhos de melhoramento genético florestal para aliar as características encontradas nas distintas espécies visando uma melhor performance no processo de produção de polpa celulósica.

As espécies do gênero *Acacia* se revelam com potencial para o setor celulósico-papeleiro nacional uma vez que as condições edafo-climáticas brasileira favorecem o bom crescimento de espécies deste gênero e como foi visto neste trabalho com resultados favoráveis no que se refere aos parâmetros de qualidade da madeira.

3 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

- As espécies avaliadas e seus respectivos materiais genéticos caracterizaram-se por apresentar diferenças químicas, físicas e anatômicas entre as madeiras das espécies, influenciando significativamente na performance do processo kraft de polpação destas matérias primas.
- As densidades básicas médias das madeiras apresentaram diferentes valores, sendo os valores mais elevados para as madeiras de *A. auriculiformis* (2 e 3) e *A. crassicarpa* (1), respectivamente iguais a (0,513 g/ cm³; 0,525 g/ cm³ e 0,528 g/ cm³) e os menores valores para as madeiras das espécies de *A. mangium* (1, 2, 3 e 4), respectivamente de (0,357 g/ cm³; 0,384 g/ cm³; 0,412 g/ cm³ e 0,436 g/ cm³).
- Os modelos de variação longitudinal no sentido base-topo, mantiveram a tendência de serem elevadas na base da árvore e decrescerem ao longo do fuste até atingirem o topo.
- A composição química não apresentou padrões definidos de variação com as distintas espécies.
- Os teores de holocelulose variaram para todas as espécies entre 60,99% para *A. auriculiformis* (1) e 68,79% para *A. aulacocarpa* (1) como valores mínimo e máximo.
- As maiores variações ocorreram com relação aos teores de extrativos e a espécie *A. auriculiformis* (1, 2 e 3) obtiveram uma média significativa de 10,40%, valores considerados altos e indesejáveis no processo de polpação e os valores mínimo médio de 4,94% para a espécie *A. aulacocarpa* (1 e 2).
- Quanto às dimensões das fibras, para comprimento e espessura das paredes das fibras, notou-se uma tendência similar entre as espécies. As outras dimensões, largura e diâmetro do lume, apresentaram maiores

variações entre as espécies e entre as procedências, principalmente para as madeiras de *A. mangium* (1, 2, 3 e 4).

- Notou-se quanto aos parâmetros da polpação um efeito diferenciado de cada uma das espécies para as distintas cargas de álcali ativo. Os melhores resultados foram obtidos com carga de álcali ativo (entre 22,5 a 24,0%).
- Considerando a curva de polpação para obtenção de número kappa 18, entre as espécies estudadas, a média para a demanda de carga alcalina foi 23,8% e a média do rendimento depurado nestas condições foi 54,72%. Estes resultados são bastante satisfatórios para produção de polpa celulósica.
- A espécie *A. crassicarpa* procedência (1) destacou-se por apresentar a maior conversão em massa (ton/ha) de madeira na produção de celulose.
- A espécie *A. mangium* procedências (1, 2, 3 e principalmente 4) alcançaram ótimos resultados de rendimento frente ao processo kraft d polpação.

REFERÊNCIAS

- ALBINO, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica da madeira e produtividade de *Eucalyptus spp.*, **Boletim de Pesquisa EMBRAPA CPAC**, Planaltina, n. 26, p. 1-43, 1985.
- ALENCAR, G.S.B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ALMEIDA, F.S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-solids para madeiras de eucalipto**. 2003. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- ANDRADE, A.B.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiiifolia*, *Acácia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4. p. 777–785, 2000.
- ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.:** influência da idade e classe de produtividade. 2006. 107 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- ARAUJO, G.T. **Estudo químico e físico-químico da *Mimosa hostilis* Benth.** 2000. 143 p. Tese (Doutorado em Físico-Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- BAMBER, R.K. The wood anatomy of eucalyptus and paper making. **Appita Journal**, v. 38, n. 3, p. 210-216, 1985.
- BAREFOOT, A.C. The relationship between loblolly pine fiber morphology and Kraft paper properties. **North Carolina, Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin**, n. 202, p. 1-88, 1970.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. **Série Divulgação Prodepef**, Brasília, n. 45, p. 1-145, 1977.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O., COUTO, H.T.Z. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento de celulose de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 32, p. 802-808, 1983.

BARROSO, G.M. **Sistemática de angiosperma do Brasil**. Viçosa: Imprensa da Universidade Federal de Viçosa, 1991. v. 2, 309 p.

BASSA, A. **Processos de polpação kraft convencional e modificado de madeiras de *E. grandis* e Híbrido (*E. grandis* x *E. urophylla*)**. 2002. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BASSA, A.G.M.C. **Mistura de madeiras de *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids®**. 2006. 168p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BLAIN, T.J.; HOLTON, H.H. Economics of AQ pulping: the net value of increased production. **Pulp & Paper Canada**, Westmount, v. 84, n. 6, p. 58-63, 1983.

BRODERICK, G.; CACCHIONE, E.; HÉROUX, Y. The importance of distribution statistics in the characterisation of chip quality. In: PULPING CONFENCE, 1996, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: TAPPI Press, 1996. p. 535-549.

BURKART, A. Leguminosas – Mimosóideas. In: _____. **Flora ilustrada Catarinense**. Itajaí: P. Raulino Reits, 1979. v. 1, p. 17-48.

CÁCERES, R.H. Produccion y evaluación de pulpas celulósicas a partir de diferentes espécies de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1983. p. 1043-1051.

CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G.; SILVA JÚNIOR, E.C. da. A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 20., São Paulo, 1987. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1987. p. 183-205.

CARVALHO, A.M.M.L.; VITAL, B.R.; GOMIDE, J.L. Efeito da impregnação da madeira de *Eucalyptus grandis* com sais ignífugos na produção e na qualidade do carvão. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 253-262, abr./jun. 1998.

CHIANG, V.; JUN, Y. Isothermal reaction kinetics of kraft delignification of Douglas Fir”, **Journal of Wood Chemistry and Technology**, New York, v. 10, n. 3, p. 293-310, 1990.

CLARK, N.B.; BALODIS, V.; FANG, G.; WANG J. Pulping properties of tropical acacias. In: TURNBULL, J.W. (Ed.). **Advances in tropical acacia research**. Camberra: ACIAR, 1991. p. 138-144.

CLARKE, C.R.E.; WESSELS, A.M. Variation and measurements of pulp properties in *eucalyptus*. In IUFRO WORLD CONGRESS, 1995, Hobart. **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. v. 1, p. 93-100.

COLLINS, D.J.; PILOTTI, C.A.; WALLIS, A.F.A. Correlation of chemical composition and kraft pulping properties of some Papua New Guinea reforestation woods. **Appita Journal**, v. 43, n.3, p. 193-198, 1990.

COMPTON, R.G. **Chemical kinetics**: kinetic models of catalytic reactions. Oxford, Elsevier, 1991. v. 32, 302 p.

COURCHENE, C.E. The tried, the true and the new – getting more pulp from chips – modifications to the kraft process for increased yield. In: BREAKING THE PULP YIELD BARRIER SYMPOSIUM, 1998, Atlanta. Atlanta: TAPPI, 1998. p. 11- 20.

DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Acacia mangium* e *Eucalyptus pellita*. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO e SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS, 2., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 1994. p. 145 – 153.

DORAN, J.C.; SKELTON, D.J. *Acacia mangium* seed collections for international provenance trials. **Forest Genetic Resources Information**, Rome, n. 11, p. 47-53, 1982.

DUARTE, F.A.S. **Avaliação da madeira de *Bétula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica kraft**. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agrigultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

ENDRESS, P.K. **Diversity and evolutionary biology of tropical flowers**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 511p.

FARIA, S.M.; CARVALHO, C.W.L.; RAMOS, A.L.M.; FREIRE, M.F.I.; GUIMARÃES, A. de. Obtenção e seleção de estirpes de *Rhizobium* spp. Para leguminosas arbóreas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., 1991, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: SBCS, 1991. p. 196.

FERREIRA, C.A.; SILVA, F.P.; SILVA, M.D.D.; YARED, J.A.G.; CAPITANI, L.R. *Acacia mangium* – uma nova opção para reflorestamento? In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS, 1990. p. 564-568.

FERREIRA, G.W.; GONZALA, J.V.; FOELKEL, C.E.B.; ASSIS, T.F.; RATNIEK, E.; SILVA, M.C.M. Qualidade da celulose kraft-atraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamento em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 41–63, 1997.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamento comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba, n. 4, p. 65-89, 1972.

FOELKEL, C.E.B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTO, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: IUFRO, 1997. v. 1, p. 1.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; MANFREDI, V. Análise quantitativa de fibras celulósicas. **O Papel**, São Paulo, v. 37, n. 9, p. 59-64, set. 1976.

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J. . Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. **Cemibra Pesquisa**, Belo Oriente, n. 68, p. 1-31, 1978.

FONSECA, F.A. **Produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. e *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula, em diferentes recipientes, utilizando compostos de resíduos urbanos, para a recuperação de áreas degradadas.** 2005. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

FORTES, J.L.O. **Reabilitação de depósito de rejeito do refino de bauxita com o uso de resíduos industriais e leguminosas arbóreas.** 2000. 185 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas – PA, com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS, 2., Foz do Iguaçu, 1994. **Anais...** Foz do Iguaçu: FUPEF, 1994. p. 145-153.

FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. The contribution of N₂ – fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n.5/6, p. 897–903, 1997.

FREDDO, A.; FOELKEL, C.E.B.; FRIZZO, S.M.B.; SILVA, M.C.M. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose e papel. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 193–209, 1999.

GOMIDE, J.L. **Polpa celulósica: química dos processos alcalinos de polpação.** Viçosa: UFV, 1979. 50 p.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; CHAVES, R.O.; SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1.p. 129-137, jan./fev. 2005.

GOODWIN-BAILEY, C. J. **Relationship between anatomical and end use properties of the wood of selected tropical pines**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1989. p. 8-15

GULLICHSEN, J.; FOGELHOLM, C.J. **Chemical pulping**. Helsinki: Fapet Oy, 2000. 693 p.

GULLICHSEN, J.; KOLEHMAINEN, H.; SUNDQVIST, H. On the nonuniformity of the kraft cook. **Paperi Ja Puu**, Timber, v. 74, n. 6, p. 486-490, 1992.

JOLY, A.B. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. 12. ed. São Paulo: Nacional, 1998. 777 p.

LAUBACH, G.D. TAPPI survey of pulping additives: AQ and chip penetrants. In: BREAKING THE PULP YIELD BARRIER SYMPOSIUM, 1997, Atlanta. Atlanta: TAPPI, 1998. p. 103-112.

LEVENSPIEL, O. **Engenharia das reações químicas**: cinética química aplicada. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. v. 1, 211 p.

MAO, B.; CHAI, X.; DANIELSSON, L.; HARTLER, N. Continuous on-line determination of the concentrations of dissolved lignin and hydrogen sulfide ions in kraft cooking liquors. **Nordic Pulp and Paper Research Journal**, Stockholm, n. 4, p. 266-272, 1996.

MARCHIORI, J.N. **Estudo anatômico do xilema secundário e da casca de algumas espécies dos gêneros *Acacia* e *Mimosa*, nativas no estado do Rio Grande do Sul**. 1980. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

_____. Anatomia da madeira de *Acacia bonariensis* GILL. EX. HOOK. ET ARN. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 209-216, 1996.

MARCOCCIA, B.S.; STROMBERG, B.; PROUGH, J.R. Achieving major increases in hardwood yield with Lo-Solids[®]. In: BREAKING THE PULP YIELD BARRIER SYMPOSIUM, 1998, Atlanta. Atlanta: TAPPI, 1998. p. 79-89.

MARTINEZ, D.T. **Seleção genética de *Acacia mearnsii* De Wild. (acácia-negra) visando o aumento da qualidade e produtividade de madeira e tanino no Rio Grande do Sul**. 2006. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MARTINS, M.A.L. **Estudo tecnológico da polpação Kraft de *Acacia mearnsii* De Will.** 1983. 72 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

MASLIN, B.R. The role and relevance of taxonomy in the conservation and utilization of Australian acacias. **Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 1–9, 2002.

McDONOUGH, T.J. Kraft pulp yield basics. In: BREAKING THE PULP YIELD BARRIER SYMPOSIUM, 1998, Atlanta. Atlanta. TAPPI, 1998. p. 1-9.

MERA, F.E.; CHAMBERLIN, J.L. Extended delignification. an alternative to conventional kraft pulping. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 71, n. 1, p. 132-136, 1988.

MIRANDA, M.G.; SILVA, M.L.; MACHADO, C.C.; LEITE, H.G. Contribuição da casca na composição do custo do transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 145-148, 2002.

MORTHA, G.; SARKANEN, K.; GUSTAFSON, R. Alkaline pulping kinetics of short-rotation, intensively cultured hybrid poplar. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 75, n. 11, p. 99-104, Nov. 1992.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. ***Mangium* and other fast-growing acacias for the humid tropics.** Washington: National Academy Press, 1983. 62 p.

NEVES, F.L.; SANSÍGOLO, C.A.; NEVES, J.M. A química da polpação com antraquinona. **O Papel**, São Paulo, v. 59, n. 7, p. 54-57, jul. 1998.

PAULA, J.E.; ALVES, J.L.H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso.** Brasília: MOA, 1997. 543 p.

PARTHASARATHY, V.R.; GRYGOTIS, R.C.; WAHOSKE, K.W.; BRYER, D.M.A. Sulfur-free, chlorine-free alternative to kraft pulping. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 79, n. 6, p. 189-198, 1996.

PASZTOR, Y.P.C. Teste de procedências de *E. pilularis* Sm. na região de Mogi Guaçu. **IPEF**, Piracicaba, n. 8, p. 69-97, 1974.

PHANEUF, D.; BROWNLEE, D.; SIMARD, L.; SHARIFF, A.J. Interaction between AQ and sulfidity on yield and pulp strength in kraft cooking of mixed northern hardwoods. In: BREAKING THE PULP YIELD BARRIER SYMPOSIUM, 1998, Atlanta. Atlanta: TAPPI, 1998. p. 123-132.

PINTO, P.C.; EVTUGUIN, D.V.; NETTO, C.P. Chemical composition and structural features of the macromolecular components of plantation *Acacia mangium* wood. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, p. 7856-7862, 2005.

RESQUIN, F.; BARRICHELO, L.E.G.; SILVA JÚNIOR, J.O.; SANSIGOLO, C.A. Wood quality for kraft pulping of *Eucalyptus globulus* origins planted in Uruguay. **Scientia Forestales**, Piracicaba, n.72 p. 57-66, 2006.

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

SALAZAR, R. Genetic variation of 16 provenances of *Acacia mangium* at nursery level in Turrialba, Costa Rica, CATIE. v. 68, n. 4, p. 263-272, 1989.

SANSÍGOLO, C.A.; BUSNARDO, C.A.; GONZALA, J.A. Qualidade de madeira de árvores jovens e adultas de *Acacia mearnsii*. In: CONGRESSO ANUAL ABTCP, 1986, São Paulo. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: ABTCP, 1986. p. 51-77.

SANTOS, P.E.T. Subsídios para aplicação do melhoramento genético visando a qualidade da madeira de *Pinus*. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 9, n. 27, p. 1-29, 1993.

SANTOS, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. 2005. 160 p. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA JÚNIOR, F.G. **Conversão do processo kraft em soda-DDA (sal disódico de 1,4-dihidro-9,10-dihidroxi antraceno) para madeira de eucalipto**. 1994. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

_____. **Polpação kraft do eucalipto com adição de antraquinona, polissulfetos e surfactante**. 1997. 116 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

_____. Avaliação do efeito da antraquinona e surfactante sobre a polpação Kraft de *Eucalyptus sp.* **O Papel**, São Paulo, v. 59, n. 5, p. 60-65, 1998.

_____. **Efeito do ritmo de produção sobre a eficiência de processos modificados de polpação para *Eucalyptus grandis* e *Populus tremuloides***. 2005. 144 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA JÚNIOR, F.G.; BARRICHELO, L.E.G. Conversion of the kraft process in soda-DDA (disodium salt of 1,4-dihydro-9,10-dihydroxy anthracene) for *Eucalyptus*. In: 1995 PULPING CONFERENCE, 1995, Chicago. **Proceedings...** Chicago: 1995. v. 2, p. 757.

SILVA JÚNIOR, F.G.; BRAGA, E.P. Potencialidade da seleção precoce de *Eucalyptus urophylla* em função da qualidade da madeira destinada à produção de celulose. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 1997, São Paulo. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: ABTCP, 1997. p. 281-292.

SILVA JÚNIOR, F.G.; TONELLI, E. **Teste industrial com antraquinona na Votorantim Celulose e Papel - Unidade Luiz Antônio**: relatório Técnico. Luiz Antônio: 1996.

SILVA JÚNIOR, F.G.; DURAN, N.; MEI, L.I. Avaliação do efeito da antraquinona e surfactante sobre a polpação kraft de *Eucalyptus* sp. **O Papel**, São Paulo, v. 59, n. 5, p. 60-65, 1998.

SILVA JÚNIOR, F.G.; MUNER, J.C.G.; VALLE, C.F. Programa de qualidade da madeira da Votorantim Celulose e Papel. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 1995, São Paulo. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: ABTCP, 1995, v. 1, p. 757-763.

SJÖBLOM, K, Extended delignification in kraft cooking through improved selectivity Part 3. The effect of dissolved xylan on pulp yield. **Nordic Pulp and Paper Research Journal**, Stockolm, n. 1, p.34-37. 1998.

SKELTON, D. S. Distribution and ecology of Papua New Guynea acacias. In TURNBULL, J.W. (Ed.). **Australian Acacias in developing country**. Camberra: ACIAR, 1986. p. 38-44.

SMOOK, G.A. **Handbook for pulp & paper technologists**. Vancouver: Angus Wide Publ., 1994. 419 p.

SOUZA, A.P. ; DELLA LUCIA, R. M.; RESENDE, G. C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell, cultivados na região de Dionísio, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 6-27, 1979.

TAPPI. **Test methods**, Atlanta: TAPPI Press, 1998.

TEDER, A.; AXEGÅRD, P. Recent development in pulping and bleaching chemistry and technology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY, 8., 1995, Helsink. **Proceedings...** Helsink, 1995. v. 1, p. 37-55.

TURNBULL, J.W. Australian vegetation. In: _____. (Coord.). **Multipurpose australian trees and shrubs**: lesser-known species for fuelwood and agroforestry. Camberra: ACIAR, 1986. p. 29-44.

TURNBULL, J.W., MARTENSZ, P.N.; HALL, N. Notes on lesser known Australian trees and shrubs with potential for fuelwood and agro forestry. In: _____. (Coord.). **Multipurpose Australian trees and shrubs**: lesser-known species for fuelwood and agroforestry. Camberra: ACIAR, 1986. p. 81-313.

TRUGILHO, F.P.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n.1, p. 94-111, 1996.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; MARTINS, I.S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VALE, A.T.; MOURA, V.P.G.; MARTINS, I.S.; REZENDE, D.C.A. Densidade básica média, em função da profundidade de penetração do pino do “pilodyn” e da classe diamétrica, e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 429-432, 1998.

VALENTE, C.A.; MENDES DE SOUSA, A.P.; FURTADO, F.P.; CARVALHO, A.P. Improvement program for *Eucalyptus globulus* at Portucel: Technological componet. **Appita Journal**, v. 45, n. 6, p. 403-407, 1992.

VARMA, V.; KRISHNAGOPALAN, G.A. Kinetics of extended delignification using alkali profiling and on-line liquor analysis. **Appita Journal**, v. 51, n. 1, p. 217-224, 1997.

VASCONCELOS, F.S.R. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação para Acacia**. 2005.106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

VENTORIM, G. **Estudo das reações da lignina e dos ácidos hexenurônicos em polpa Kraft de eucalipto com oxigênio, dióxido de cloro, ácido sulfúrico e ozônio**. 2004. 185 p. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, La2004.

WEHR, T.R.; BARRICHELLO, L.E.G. Cozimentos kraft com Madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 25., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1992. p. 161-177.

WRIGHT, J.A.; SHAW, M.J.; HADEBE, W.; RAUBENHEIMER, The correlation of the pulp and paper traits between micropulping and full-scale pulping. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 4, p. 191-194, 1989.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Determinação Simultânea de Extrativos Totais, Lignina e Holocelulose

Laboratório de Química, Celulose e Energia

Departamento de Ciências Florestais

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Universidade de São Paulo

1. Pesar o equivalente a 1g absolutamente seco (a. s.) de serragem e transferir para saquinho de papel de filtro.
2. Colocar a amostra no corpo do extrator.
3. Fazer a extração com álcool-tolueno (1:2) e álcool 96° GL, durante 8 horas em cada solvente, deixando secar ao ar após cada extração.
4. Ligar o banho-maria e mantê-lo em ebulição.
5. Transferir toda serragem do saquinho para erlenmeyer de 250 ml.
6. Adicionar 100 ml de água destilada e colocar o erlenmeyer no banho-maria (que já deverá estar fervendo) e cobri-lo com um copo de 50 ml.
7. Agitar suavemente a cada 15 minutos.
8. Após 3 horas filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, transferindo toda a serragem do erlenmeyer para o cadinho.
9. Lavar (descontinuamente) o cadinho com 250 ml de água quente (quase fervendo).
10. Mantê-lo na estufa até peso constante (normalmente deixa-se de um dia para outro).
11. Retirar o cadinho da estufa, esperar esfriar em dessecador e pesar.
12. Calcular a percentagem de “Extrativos Totais” através da expressão:
$$\% ET = (1 - \text{peso a. s. serragem}) \times 100$$
13. Utilizando-se a mesma serragem do cadinho transferi-la para copo de 50 ou 100ml.
14. Resfriar o H₂SO₄ 72% a 10 – 12°C.
15. Adicionar 15 ml de H₂SO₄ 72% para o copo e mantê-lo no banho de água a 18 – 20°C.
16. Agitar e manter no banho durante 2 horas. Homogeneizar periodicamente e manter o bastão dentro do copo.

17. Após 2 horas transferir para erlenmeyer de 1 litro usando 560 ml de água destilada.
18. Ferver durante 4 horas mantendo constante o nível do erlenmeyer por adição periódica de água destilada.
19. Após 4 horas deixar a lignina sedimentar totalmente (equivale a deixar de um dia para outro).
20. Filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, fazendo um fundo com papel de filtro, e transferir toda a lignina do erlenmeyer para o cadinho.
21. Lavar o erlenmeyer com água quente (quase fervendo).
22. Lavar a lignina do cadinho com 250 ml água quente (quase fervendo).
23. Mantê-lo na estufa até peso constante (normalmente deixa-se de um dia para outro).
24. Retirar o cadinho da estufa, esperar esfriar em Dessecador e pesar.
25. Calcular a porcentagem de lignina através da expressão:
 $\% \text{ Lignina} = \text{Peso a. s. de resíduo} \times 100$
26. Calcular a porcentagem de holocelulose através da expressão:
 $\% \text{ Holocelulose} = 100 - (\% \text{ ET} - \% \text{ Lignina})$

APÊNDICE B

Análise da variância e teste F para resultados de densidade básica ponderada das espécies *A. aulacocarpa* (1 e 2), *A. auriculiformis* (1, 2 e 3), *A. crassicarpa* (1 e 2), *A. mangium* (1, 2, 3 e 4).

Tabela ANOVA de densidade básica ponderada por material - Análise de Variância.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Em grupo	10	0,160039	0,0160039	11,53	0,0000
Dentro do grupo	44	0,0610892	0,00138839		
Total	54	0,221128			

Multiplo teste para densidade básica por material

Teste de Tukey HSD

MATERIAL	VALOR	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
<i>A. mangium</i> (1)	5	0,3574	X
<i>A. mangium</i> (2)	5	0,3846	XX
<i>A. mangium</i> (3)	5	0,4116	XXX
<i>A. aulacocarpa</i> (2)	5	0,4536	XXX
<i>A. mangium</i> (4)	5	0,4626	XXX
<i>A. crassicarpa</i> (2)	5	0,4676	XX
<i>A. auriculiformis</i> (1)	5	0,4878	XX
<i>A. aulacocarpa</i> (1)	5	0,4908	XX
<i>A. auriculiformis</i> (2)	5	0,5126	X
<i>A. auriculiformis</i> (3)	5	0,5250	X
<i>A. crassicarpa</i> (1)	5	0,5284	X

APÊNDICE C

Análise da variância e teste F para resultados de índice de heterogeneidade das espécies *A. aulacocarpa* (1 e 2), *A. auriculiformis* (1, 2 e 3), *A. crassicarpa* (1 e 2), *A. mangium* (1, 2, 3 e 4).

Tabela ANOVA para índice de heterogeneidade - Análise de Variância.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	3,60203	0,360203	1,74	0,1027
Resíduo	44	9,13316	0,207572		
Total	54	12,7352			

APÊNDICE D

Análise da variância e teste F para resultados de características químicas das espécies *A. aulacocarpa* (1 e 2), *A. auriculiformis* (1, 2 e 3), *A. crassicarpa* (1 e 2), *A. mangium* (1, 2, 3 e 4).

Análise de Variância para holocelulose da madeira.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	259,0594945	25,9059495	5,88	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância para lignina insolúvel da madeira.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	85,0471309	8,5047131	6,41	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância para lignina solúvel da madeira.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	12,81504364	1,2815036	4,02	0,0006
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância para lignina total da madeira.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	93,6826909	9,3682691	5,95	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância extrativos totais da madeira.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	303,8306182	30,3830618	15,98	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância para pentosanas da madeira.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	10,55927843	1,87395421	3,95	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

APÊNDICE E

Análise da variância e teste F para resultados de dimensões das fibras das espécies *A. aulacocarpa* (1 e 2), *A. auriculiformis* (1, 2 e 3), *A. crassicarpa* (1 e 2), *A. mangium* (1, 2, 3 e 4).

Análise de Variância para comprimento da fibra.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	0,36875253	0,03687525	4,69	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância para largura da fibra.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	563,0113636	56,3011364	5,75	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância para diâmetro do lume da fibra.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	563,0113636	56,3011364	5,75	0,0001
Resíduo	44				
Total	54				

Análise de Variância para espessura da fibra.

FONTES	GL	SQ	QM	F	Pr
Matéria-prima	10	9,09589818	0,90958982	1,24	0,2914
Resíduo	44				
Total	54				