

INDEXADO

APROVEITAMENTO INDUSTRIAL DA MADEIRA DE *Gmelina arborea* Roxb.
PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE*

Nadir Silva Castro
Celso E. B. Foelkel
José Lívio Gomide**

Resumo

O experimento, conduzido com madeira de *Gmelina arborea* com 8 anos de idade, teve como objetivo comparar os processos kraft, soda, soda-enxofre, sulfito neutro e bissulfito, a fim de verificar o comportamento da espécie para aproveitamento industrial na produção de celulose.

Para cada processo foram adotadas duas condições de cozimento. A refinação da celulose foi feita em moinho Jokro Muhle, à consistência de 5%, em 6 tempos de moagem. As propriedades físico-mecânicas das celuloses obtidas foram comparadas aos níveis de 30, 45 e 60°SR.

As maiores resistências foram observadas nas celuloses kraft com 14 e 15% de Na₂O, seguidas das de soda-enxofre com 14% de Na₂O. A celulose soda com 14% de Na₂O apresentou a mais baixa alvura de todos os processos. As celuloses neutro mostraram os mais elevados tempos para refino a 30 e 45° SR, os maiores rendimentos, o maior teor de rejeitos com 20% de Na₂SO₃, o menor esticamento com 22% de Na₂SO₃ e alvura superior às obtidas com os processos alcalinos. As celuloses bissulfito apresentaram os menores tempos para refino a 45 e 60°SR, a mais elevada alvura, as menores resistências e o menor peso específico aparente.

A adoção de um ou de outro processo dependerá das características desejadas para a celulose e das possibilidades econômicas em cada situação.

* Recebido para publicação em 24/05/1979. Pesquisa financiada pelo Convênio CENIBRA/UFV.

** Respectivamente, estudante de Pós-Graduação em Ciência Florestal - opção Tecnologia de Celulose e Papel, Professor Colaborador e Professor Adjunto da U.F.V.

1. INTRODUÇÃO

A *Gmelina arborea* é uma espécie florestal originária da Índia e do Sul da Ásia, largamente plantada na Nigéria, na Malásia, no Brasil e, em escala experimental, em outros países tropicais. Sua introdução em outros continentes, que não o de origem, foi altamente satisfatória, uma vez que a espécie é muito rústica e de rápido crescimento. Os plantios homogêneos com ela realizados nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil e na Nigéria foram muito bem sucedidos. Hoje, frente ao sucesso de sua introdução, a *Gmelina arborea* está, inclusive, passando a representar, para o Brasil, uma fonte promissora de madeira para inúmeros usos.

A madeira de *Gmelina* pode ser empregada para muitos fins, como lenha, postes, laminados, caixotaria, tábuas, palitos de fósforo, etc. O maior interesse em seu plantio recai, porém, na industrialização para produção de celulose para papel, aglomerados e chapas.

Experimentos com celulose, conduzidos com material proveniente de árvores desenvolvidas naturalmente na Índia e com material proveniente de plantios artificiais na Costa do Marfim, na Nigéria e na Malásia, têm dado bons rendimentos na produção de papel com propriedades satisfatórias, superiores às do papel obtido da maior parte das madeiras tropicais.

O conhecimento sobre a madeira de *Gmelina arborea* e sua transformação tecnológica em polpa celulósica é ainda incipiente e, em razão disso, são necessários melhores estudos.

Justifica-se, portanto, um estudo comparativo dos processos kraft, soda, soda-enxofre, bissulfito de sódio e sulfito neutro, a fim de verificar o comportamento da madeira de *Gmelina arborea*, para aproveitamento industrial na produção de celulose no País.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A *Gmelina arborea*, botanicamente, apresenta a seguinte classificação: espécie, *Gmelina arborea* Roth; família, Verbenaceae; nomes vulgares, gmelina, teca-branca, gomari, árvore de kashmir.

HUGHES e ESAN (6) referem-se à espécie como sendo uma folhosa de crescimento rápido, formando uma grande árvore, rústica, resistente a ervas daninhas e de fácil regeneração. Em razão disso, está sendo cogitada e usada para reflorestamento em muitos países, já que sua madeira tem demonstrado boa qualidade para inúmeras utilidades.

A *Gmelina arborea* foi introduzida com sucesso em vários países da África (Nigéria, Costa do Marfim, Daomé, Guiné, Gâmbô, Mali, Congo, Senegal, Serra Leoa, Rodésia, Zâmbia, Camerão) e da América (Brasil, Venezuela, Cuba e Honduras Britânicas). O plantio com *Gmelina arborea* varia muito em extensão, que vai desde parcelas experimentais em hortos florestais, em alguns países, até grandes plantios industriais, como acontece na Nigéria e no Brasil.

FOELKEL *et alii* (4) relatam que as melhores condições para a espécie encontram-se em regiões com temperatura que varia de 18 a 35°C, com uma estação seca bem característica, mas com umidade relativa do ar nunca inferior a 40%, e precipitação

anual de 1.500 a 2.300 mm.

Vários trabalhos (2, 7, 8) demonstram que a *Gmelina arborea* desenvolve-se rapidamente em solos pobres de áreas degradadas, não exigindo grandes riquezas de solo, clima e pluviosidade, crescendo rapidamente em quase todos os tipos de solo; mas, para manter a taxa de crescimento, exige solos profundos, relativamente úmidos e sem obstáculos.

A madeira de *Gmelina arborea* foi descrita por PEH (9) como sendo leve e de cor amarelo-palha a creme, sendo facilmente transformada em celulose, com bons rendimentos, pelos processos de deslignificação. Sua superfície é brilhante e parece um pouco oleosa ao tato. É inodora e insípida.

A densidade da madeira foi estudada por vários autores (2, 3, 6, 10), que a consideraram como de média densidade básica, com valores de 0,38 a 0,54 g/cm³.

Descrições das características e dimensões das fibras dessa espécie são encontradas em literatura especializada (1, 2, 8, 10, 11). As fibras são curtas, da mesma ordem das de várias espécies de *Eucalyptus*, favoravelmente flexível, podendo-se prever que os papéis com elas fabricados deverão apresentar boa resistência à tração e ao arrebentamento e resistência ao rasgo razoável.

Os principais constituintes químicos determinados em madeira de *Gmelina arborea* pelos procedimentos padrão, e expressos em percentagens de madeira absolutamente seca, foram relatados por diversos pesquisadores (2, 3, 8, 10, 12). Quimicamente, a madeira apresenta a composição típica das folhosas, salientando-se alto teor de extrativos e de holocelulose.

Vários autores realizaram estudos relacionados com a conversão tecnológica da madeira de *Gmelina arborea* em polpa celulósica, utilizando os processos kraft (2, 5, 8, 9, 11), soda (3, 4, 9), soda-enzofre (3), sulfito neutro (2, 3, 9) e bissulfito (3). Basicamente, as pesquisas demonstraram que a madeira pode ser deslignificada com relativa facilidade pelos processos alcalinos, com bom rendimento em celulose. As polpas alcalinas mostraram como principal característica alta resistência à tração e ao arrebentamento, mas resistência ao rasgo apenas razoável e fácil branqueamento, tendo sido obtidas alvuras de 92,5% SCAN com a seqüência CEDED. Os processos NSSC e bissulfito mostraram-se, também, perfeitamente aplicáveis à madeira de *Gmelina arborea*, resultando em polpas de boa qualidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado nesse estudo foi obtido de uma plantação de *Gmelina arborea*, com 8 anos de idade, instalado no "campus" da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. O plantio foi feito em espaçamento de 2,5 x 2,5 metros, com mudas de sementes provenientes da Maláia.

Foram amostradas, ao acaso, cinco árvores representativas, com referência ao desenvolvimento médio da espécie em Viçosa. Essas árvores foram derrubadas, determinando-se suas alturas comerciais. A seguir, foram seccionadas em toras de 2 m de comprimento, a partir da base até um diâmetro mínimo de 7 cm. Discos de aproximadamente 2,5 cm de espessura foram retirados das secções correspondentes a base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100%

da altura comercial. Esses discos tiveram seus diâmetros médios (com e sem casca) determinados. Os parâmetros dendrométricos determinados para as árvores utilizadas neste estudo são apresentados no Quadro 1.

As toras restantes foram descascadas e reduzidas a cavacos em picador industrial. Os cavacos foram homogeneizados, secados ao ar e armazenados em sacos de polietileno para uniformização do teor de umidade e para evitar alterações desse teor.

As densidades básicas das amostras de madeira e da casca foram determinadas utilizando-se o método da balança hidrostática.

As medições das fibras foram realizadas após maceração com solução nítrico-acética, na proporção volumétrica de 5 partes de ácido acético glacial para uma parte de ácido nítrico concentrado.

As análises químicas foram realizadas, segundo normas TAPPI, na serragem obtida da moagem de cavacos de madeira de *Gmelina arborea*, e o resultado médio de duas análises foi expresso em porcentagem, em relação ao peso de madeira absolutamente seca.

Os processos adotados para a deslignificação dos cavacos foram o kraft, o soda, o soda-enzofre, o sulfito neutro (NSSC) e o bissulfito. Os cozimentos foram realizados em digestor de aço inoxidável, rotativo (2 - 3 rpm), com capacidade de 20 litros, aquecido eletricamente e dotado de termômetro e manômetro. A quantidade de cavacos por cozimento foi a equivalente a 1.500 g de madeira absolutamente seca, separada em três células no interior do digestor. Para cada processo de conversão empregado foram analisados 2 níveis de reagentes químicos. As condições de cozimento foram as seguintes:

Processo kraft:

Alcali ativo: 14 a 15% de Na₂O, base madeira a.s.
Sulfidez: 25%
Temperatura máxima: 170°C
Tempo até temperatura máxima: 90 min
Tempo à temperatura máxima: 60 min
Relação licor/madeira: 4/1

Processo soda:

Alcali ativo: 14 a 16% de Na₂O, base madeira a.s.
Temperatura máxima: 170°C
Tempo até temperatura máxima: 120 min
Tempo à temperatura máxima: 60 min
Relação licor/madeira: 4/1

Processo soda-enzofre

Alcali ativo: 14 a 16% de Na₂O, base madeira a.s.
Enzofre (base madeira a.s.): 1,8 e 2,0%
Temperatura máxima: 170°C
Tempo até temperatura máxima: 120 min
Tempo à temperatura máxima: 60 min
Relação licor/madeira: 4/1

QUADRO 1 - Parâmetros dendrométricos de árvores de *Gmelina arborea* com 8 anos de idade

Parâmetros	Árvore					Média
	1	2	3	4	5	
Altura, m	7,00	6,80	8,60	6,40	5,50	6,86
DAP, cm						
- com casca	19,00	16,40	14,70	14,00	19,50	16,72
- sem casca	15,50	13,40	12,70	11,20	17,20	14,00
Volume real comerciável, m ³						
- com casca	0,1984	0,1436	0,1356	0,0985	0,1641	0,1480
- sem casca	0,1319	0,0955	0,1087	0,0628	0,1287	0,1053
Fator de forma, %	86,29	83,98	89,60	87,91	87,08	86,98
Teor de casca, %	27,63	28,68	27,34	31,64	25,68	28,09

Processo sulfito neutro - NSSC

Na₂SO₃ (base madeira a.s.): 20 e 22%
 Na₂CO₃ (base madeira a.s.): 3,5 e 4%
 Temperatura máxima: 170°C
 Tempo até temperatura máxima: 120 min
 Tempo à temperatura máxima: 120 min
 Relação licor/madeira: 4/1

Processo bissulfito:

NaHSO₃ (base madeira a.s.): 20 e 22%
 Tempo até 105°C: 60 min
 Tempo a 105°C: 90 min
 Tempo até 125°C: 30 min.
 Tempo a 125°C: 90 min
 Tempo até 150°C: 30 min
 Tempo a 150°C: 120 min
 Relação licor/madeira: 5/1

No final de cada cozimento foram recolhidas amostras do licor negro para serem analisadas quanto a pH, álcali ativo residual, teor de sólidos, teor de matéria orgânica e teor de matéria inorgânica.

Depois do cozimento, os cavacos foram desfibrados num refinador de discos e a polpa foi, a seguir, depurada em tela com orifícios de 0,9 x 0,9 mm. As determinações de número Kappa e viscosidade foram realizadas segundo normas TAPPI, e a celulose depurada foi refinada em moinho tipo Jokro-Muhle, à consistência de 5%. As folhas para testes foram confeccionadas em formador tipo Koethen Rapid, com dois secadores, e, depois de condicionadas segundo a norma preconizada pela ABNT, foram submetidas a testes físico-mecânicos conforme normas TAPPI.

O esquema experimental adotado foi o de inteira casualização, com a maioria das análises de variância obedecendo a um esquema fatorial, uma vez que foi possível combinar, como causas de variação, os diversos graus de moagem (°SR) das celuloses com os diversos processamentos, o que propiciou a obtenção de maior número de informações. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**4.1. Características da Madeira de *Gmelina arborea***

A densidade básica da madeira de *Gmelina arborea* utilizada neste estudo foi determinada como sendo igual a 0,402 g/cm³, enquanto a densidade básica de vinte fragmentos de casca mostrou-se, como esperado, inferior à da madeira, com um valor médio de 0,192 g/cm³. A madeira de *Gmelina arborea* caracterizou-se por apresentar densidade básica inferior às de outras folhosas utilizadas como fonte de matéria-prima para a produção de celulose, como, por exemplo, os eucaliptos, que, com a mesma idade, atingem densidades básicas em torno de 0,50 g/cm³. Deve-se notar que madeiras com menores densidades podem apresentar como características negativas maior custo de explora-

ção por tonelada de madeira e consumo de maior volume de madeira por tonelada de celulose.

A constituição química e as dimensões das fibras da madeira de *Gmelina arborea* são apresentadas no Quadro 2.

QUADRO 2 - Constituição química e dimensões das fibras de *Gmelina arborea*

Constituição química		Dimensões das fibras	
Análise	Valor, %	Dimensão	Valor
Holocelulose	75,61	Comprimento	0,98 mm
Pentosanas	14,00	Largura	28,2 μ
Lignina	27,06	Diâmetro do lúmen	17,6 μ
Cinzas	0,77	Espessura da parede	5,3 μ
Solubilidades em:		Coefficiente de flexibilidade	62%
Água quente	4,93		
Água fria	2,79		
NaOH 1%	15,48		
Álcool/benzeno	6,25		
Éter etílico	2,58		

Com base nas dimensões encontradas para as fibras de *Gmelina arborea*, pode-se prever a obtenção de celuloses com boa resistência à tração e ao arrebentamento. Do ponto de vista de composição química, a *Gmelina* se caracterizou-se por apresentar altos teores de lignina, de cinzas, de extrativos em água quente e álcool/benzeno e baixo teor de pentosanas.

4.2. Rendimentos e Deslignificação

Os valores médios de rendimentos brutos, rendimentos depurados, teores de rejeitos e números kappa são apresentados no Quadro 3. Um resumo das análises estatísticas dessas características, para os diferentes processos, é apresentado no Quadro 4.

O maior rendimento bruto foi verificado no processo NSSC com 20% de Na_2SO_3 , que diferiu estatisticamente dos demais processos de deslignificação. Os menores rendimentos brutos foram obtidos com os processos kraft com 15% de Na_2O , soda com 16% de Na_2O e soda-enxofre com 16% de Na_2O .

Para o rendimento depurado, o processo NSSC com 20% de Na_2SO_3 também alcançou o melhor resultado, verificando-se menor rendimento depurado no processo kraft com 15% de Na_2O .

QUADRO 3 - Rendimentos e números Kappa das celuloses de *Gmelina arborea*

Processos	Rendimento bruto, %	Rendimento depurado, %	Teor de rejeitos, %	Número kappa
Kraft:				
14% Na_2O	49,6	48,1	1,6	27,4
15% Na_2O	46,7	45,5	1,2	24,0
Soda:				
14% Na_2O	49,3	47,5	1,8	40,7
16% Na_2O	46,8	46,1	0,7	27,9
Soda-enxofre:				
14% Na_2O - 1,8% S	50,0	48,2	1,8	31,0
16% Na_2O - 2,0% S	47,1	46,2	1,0	25,6
NSSC:				
20% Na_2SO_3	71,9	67,9	4,0	123,0
22% Na_2SO_3	68,4	66,0	2,4	99,7
Bissulfito:				
20% NaHSO_3	63,0	59,8	3,2	97,8
22% NaHSO_3	59,4	57,6	1,8	83,0

O processo que mais rejeitos forneceu foi o NSSC com 20% de Na_2SO_3 , que também diferiu estatisticamente dos demais. O menor teor de rejeitos foi verificado no processo soda com 16% de Na_2O .

Em razão do processo sulfito neutro ter apresentado os maiores rendimentos em celulose, o licor residual mostrou baixo teor de sólidos, o que torna mais difícil a recuperação econômica dos agentes de deslignificação.

Observou-se que a *Gmelina arborea*, provavelmente em razão de seu teor de lignina e extrativos, apresentou deslignificação ligeiramente mais difícil que as normalmente encontradas para os eucaliptos.

QUADRO 4 - Resumo das análises estatísticas dos valores médios dos rendimentos e dos números Kappa das celuloses de *Gmelina arborea**

Rendimento bruto	Rendimento depurado	Teor de rejeitos	Número kappa
$S_1 = 71,9$ a	$S_1 = 67,9$ a	$S_1 = 4,0$ a	$S_1 = 123$ a
$S_2 = 68,4$ b	$S_2 = 66,0$ b	$B_1 = 3,2$ b	$S_2 = 99,7$ b
$B_1 = 63,0$ c	$B_1 = 59,8$ c	$S_2 = 2,4$ c	$B_1 = 97,8$ b
$B_2 = 59,4$ d	$B_2 = 57,6$ d	$B_2 = 1,8$ d	$B_2 = 83,0$ c
$SE_1 = 50,0$ e	$SE_1 = 48,2$ e	$SE_1 = 1,8$ d	$SO_1 = 40,7$ d
$K_1 = 49,6$ e	$K_1 = 48,1$ e	$SO_1 = 1,8$ d	$SE_1 = 31,0$ e
$SO_1 = 49,3$ e	$SO_1 = 47,5$ ef	$K_1 = 1,6$ de	$SO_2 = 27,9$ ef
$SE_2 = 47,1$ f	$SE_2 = 46,2$ fg	$K_2 = 1,2$ ef	$K_1 = 27,4$ ef
$SO_2 = 46,8$ f	$SO_2 = 46,1$ fg	$SE_2 = 1,0$ f	$SE_2 = 25,6$ f
$K_2 = 46,7$ f	$K_2 = 45,5$ g	$SO_2 = 0,4$ g	$K_2 = 24,0$ f

* Os valores médios dos rendimentos e dos números kappa seguidos da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

$K_1 =$ kraft, 14% Na_2O ; $K_2 =$ kraft, 15% Na_2O ; $SO_1 =$ Soda, 14% Na_2O ; $SO_2 =$ Soda, 16% Na_2O ; $SE_1 =$ Soda-enxofre, 14% Na_2O ; $SE_2 =$ Soda-enxofre, 16% Na_2O ; $S_1 =$ Sulfito neutro, 20% Na_2SO_3 ; $S_2 =$ Sulfito neutro, 22% Na_2SO_3 ; $B_1 =$ Bissulfito, 20% $NaHSO_3$; $B_2 =$ Bissulfito, 22% $NaHSO_3$.

Nos processos alcalinos, os teores de lignina residual encontrados nas celuloses localizavam-se na faixa considerada economicamente branqueável, à exceção do processo soda com 14% de Na_2O , em que o número kappa médio esteve acima de 40.

Os menores teores de lignina residual, expressos pelo número kappa, foram alcançados pelos processos kraft com 15% de Na_2O e soda-enxofre com 16% de Na_2O , que diferiram estatisticamente dos demais. Por outro lado, o processo sulfito neutro registrou o mais alto teor de lignina residual.

O processo bissulfito, apesar de apresentar altos teores de lignina residual, conduziu a celuloses claras, com, provavelmente, maior facilidade de branqueamento.

Pela análise dos números kappa obtidos para as celuloses NSSC, os menores teores de lignina residual foram encontrados no tratamento com 22% de Na_2SO_3 . Nessa condição foram obtidos menores rendimentos, mas certas propriedades de resistência foram melhores que para o tratamento com 20% de Na_2SO_3 , conforme será posteriormente discutido.

4.3. Licor Residual

Os resultados das análises dos licores residuais dos diferentes cozimentos são apresentados no Quadro 5.

Os licores residuais do processo kraft apresentaram valores de pH que variaram de 11,6 a 12, suficientes para manter em solução a lignina degradada. Nos licores residuais do processo soda, o pH final ficou em faixas acima de 12. Pode-se dizer que não houve precipitação da lignina nos processos alcalinos, tendo ocorrido, entretanto, acentuada remoção de carboidratos, o que pode ser evidenciado pela análise do teor de sólidos, principalmente no processo kraft com 15% de Na_2O e no processo soda com 16% de Na_2O . O processo NSSC resultou em altos rendimentos de polpa e em licores residuais com baixos teores de sólidos.

O processo bissulfito apresentou alto teor de matéria inorgânica e baixo teor de sólidos nos licores residuais.

4.4. Características das Celuloses

4.4.1. Viscosidade

Os dados relativos às viscosidades e respectivas análises estatísticas são apresentados nos Quadros 6 e 7a, respectivamente.

A viscosidade da polpa celulósica é um excelente índice de controle de qualidade, pois, associando-se ao peso molecular, indica o grau de degradação das cadeias de carboidratos e, por extensão, relaciona-se com a resistência da polpa.

No processo kraft, com as condições adotadas para a deslignificação, os carboidratos não sofreram degradação excessiva, resultando em razoáveis viscosidades nas polpas celulósicas.

No processo soda com 16% de Na_2O , as celuloses apresentaram viscosidades relativamente baixas, o que pode ser atribuído à degradação química das moléculas da cadeia de polissacarídeos pela ação alcalina.

QUADRO 5 - Análise dos licores residuais dos cozimentos com *Gmelina arborea*

Licor negro	pH	A.A.R. (g/l)	T.S. (%)	M.I. (%)	M.O. (%)
Processo kraft:					
14% Na ₂ O	11,6	1,5	17,9	35,9	64,1
15% Na ₂ O	12,0	2,5	21,0	36,8	63,2
Processo soda:					
14% Na ₂ O	13,0	2,5	19,7	30,9	69,1
16% Na ₂ O	13,6	3,2	21,0	34,4	65,6
Processo soda-enxofre:					
14% Na ₂ O - 1,8% S	12,0	0,9	14,3	42,2	57,8
16% Na ₂ O - 2,0% S	12,6	2,6	16,4	45,1	54,9
Processo NSSC:					
20% Na ₂ SO ₃	9,4		11,1	26,1	73,9
22% Na ₂ SO ₃	10,1		13,2	28,2	71,8
Processo bissulfito:					
20% NaHSO ₃			12,9	71,8	28,2
22% NaHSO ₃			13,4	79,9	29,1

A.A.R. - álcali ativo residual.
T.S. - teor de sólidos.
M.I. - matéria inorgânica, base sólidos.
M.O. - matéria orgânica, base sólidos.

No processo soda-enxofre, a ação do hidróxido de sódio sobre os carboidratos foi influenciada pela presença de enxofre, que forma, em meio alcalino, uma série de compostos de enxofre: o sulfeto de sódio, que apresenta maior seletividade para a lignina, e os polissulfetos, que reagem com o grupo terminal redutor dos carboidratos, estabilizando-os. Conseqüentemente, as cadeias de celulose sofrem menor degradação, o que irá contribuir, pelo menos em parte, para um valor mais alto da viscosidade.

QUADRO 6 - Características físico-mecânicas das celulosas de *Gmelina arborea*

Processos	Viscosidade aparente - g/cm ² CP	Densidade aparente - g/cm ³		Tempo de moagem - min		Auto-ruptura - %		Índice arrêtenimento		Índice de rasgo		Esticamento - %		Dobramento		Aloura - g/g 60(°C)							
		30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°								
Kraft, 14% Na ₂ O	21,8	0,59	0,65	0,67	18,5	51,0	85,3	6,8	7,5	8,4	54,9	64,7	66,0	128,0	124,6	117,7	2,5	2,9	3,2	754	1878	3689	25,8
Kraft, 15% Na ₂ O	18,5	0,61	0,64	0,67	20,7	60,8	94,7	6,6	7,7	8,1	51,5	61,4	66,5	121,9	115,2	114,7	2,4	3,0	3,3	1327	3157	5054	28,5
Soda, 14% Na ₂ O	21,5	0,60	0,63	0,64	27,2	66,0	98,3	6,2	7,2	7,6	41,7	48,6	50,8	108,9	110,7	108,2	2,1	2,4	2,7	308	1484	3110	21,7
Soda, 16% Na ₂ O	15,9	0,62	0,65	0,67	23,0	60,3	101,3	6,8	7,8	8,4	44,4	51,4	55,3	99,3	101,3	97,4	2,5	2,8	2,9	331	1670	3853	26,3
Soda-enxofre, 14% Na ₂ O, 1,8% S	24,1	0,65	0,67	0,70	27,3	70,3	102,5	7,5	8,5	9,4	51,1	59,7	65,8	110,5	106,9	103,5	2,4	2,7	3,0	1251	3337	5390	25,1
Soda-enxofre, 16% Na ₂ O, 2,0% S	18,8	0,64	0,66	0,68	31,0	75,3	103,0	6,9	7,7	8,0	46,7	52,8	58,5	109,6	103,2	100,3	2,4	2,8	3,2	639	3006	4625	26,6
NSSC, 20% Na ₂ SO ₃	-	0,58	0,61	0,62	54,7	83,0	99,7	6,7	8,0	8,7	40,0	46,9	51,2	72,5	70,4	68,9	1,8	2,1	2,3	330	819	1281	37,3
NSSC, 22% Na ₂ SO ₃	-	0,59	0,62	0,64	45,5	72,7	96,7	6,0	7,3	8,5	34,0	42,7	49,9	72,6	70,3	66,2	1,7	1,8	2,3	175	510	1253	26,6
Bissulfito, 20%	-	0,57	0,58	0,59	23,5	37,0	46,3	5,6	6,1	6,2	30,9	33,2	38,0	66,3	66,3	59,8	1,6	1,8	2,0	61	146	282	40,6
Bissulfito, 22% NaHSO ₃	-	0,54	0,60	0,62	24,3	30,2	39,7	5,5	6,5	6,9	28,5	35,8	38,0	63,3	60,8	64,8	1,8	2,1	2,2	65	196	305	42,0

(*) - Graus SR.

QUADRO 7 a - Análises estatísticas dos valores médios das propriedades físico-mecânicas das celuloses de *Omeiza arborea*, por processamento e grau Schopper Riegler*

Viscosidade (CP)	Densidade aparente g/cm ³	Tempo de reação, min			Comprimento de auto-ruptura, 2m	Índice de arrebitamento
		30 ^o SR	45 ^o SR	60 ^o SR		
SE ₁ = 24,1 a	SE ₁ = 0,67 a	S ₁ = 54,7 a	S ₁ = 83,0 a	SE ₂ = 103,0 ab	SE ₁ = 8,5 a	K ₁ = 61,9 a
K ₁ = 21,8 ab	SE ₂ = 0,66 ab	S ₂ = 45,5 b	SE ₂ = 75,3 ab	SE ₁ = 102,5 ab	S ₁ = 7,8 b	K ₂ = 60,4 a
SO ₂ = 21,3 ab	SE ₂ = 0,65 ab	SE ₂ = 31,0 c	S ₂ = 72,7 bc	SO ₂ = 101,3 ab	SO ₂ = 7,7 b	SE ₁ = 58,9 a
SE ₂ = 18,8 ab	K ₂ = 0,64 bc	SE ₁ = 27,3 cd	SE ₁ = 70,3 bc	S ₁ = 99,7 ab	K ₁ = 7,6 b	SE ₂ = 5,27 b
K ₂ = 18,3 ab	K ₁ = 0,64 bc	SO ₁ = 27,2 cd	SO ₁ = 66,0 cd	SO ₁ = 98,3 ab	K ₂ = 7,5 bc	SO ₂ = 50,4 bc
SO ₂ = 15,9 b	SO ₁ = 0,62 cd	B ₂ = 24,3 cd	K ₂ = 60,8 d	S ₂ = 96,7 ab	SE ₂ = 7,5 bc	SO ₁ = 47,0 cd
	S ₂ = 0,62 cd	B ₁ = 23,5 cde	SO ₂ = 60,3 d	K ₂ = 94,7 b	S ₂ = 7,3 bc	S ₁ = 46,7 cd
	S ₁ = 0,60 de	SO ₂ = 21,0 de	K ₁ = 52,0 e	K ₁ = 85,3 c	SO ₁ = 7,0 c	S ₂ = 42,8 d
	B ₂ = 0,59 e	K ₂ = 20,7 de	B ₂ = 50,2 e	B ₂ = 59,7 d	B ₂ = 6,3 d	B ₂ = 34,6 e
	B ₁ = 0,58 e	K ₁ = 18,5 e	B ₁ = 37,0 f	B ₁ = 46,3 e	B ₁ = 6,0 d	B ₁ = 34,0 e
						60 ^o SR = 8,0 a
						45 ^o SR = 7,4 b
						30 ^o SR = 6,5 c

* As médias dos valores, quando seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. K₁ = Kraft, 141 Na₂O; K₂ = Kraft, 151 Na₂O; SO₁ = Soda, 141 Na₂O; SO₂ = Soda, 161 Na₂O; SE₁ = Soda-enofofe, 141 Na₂O; SE₂ = Soda-enofofe, 161 Na₂O; S₁ = Sulfito neutro, 201 Na₂SO₃; S₂ = Sulfito neutro, 221 Na₂SO₃; B₁ = Bissulfito, 201 NaHSO₃; B₂ = Bissulfito, 221 NaHSO₃; CSR = Grau Schopper Riegler.

QUADRO 7 b - Análises estatísticas dos valores médios das propriedades físico-mecânicas das celuloses de *Omeiza arborea*, por processamento e grau Schopper Riegler*

Índice de rasgo	Esticamento, %	Dobramento			Alvura, °CE
		30 ^o SR	45 ^o SR	60 ^o SR	
K ₁ = 123,4 a	K ₂ = 2,9 a	K ₂ = 1327 a	SE ₁ = 3337 a	SE ₁ = 5390 a	B ₂ = 42,0 a
K ₂ = 117,3 a	K ₁ = 2,9 a	SE ₁ = 1251 a	K ₂ = 3157 a	SE ₂ = 5054 ab	B ₁ = 40,6 ab
SO ₁ = 108,6 b	SE ₂ = 2,8 ab	K ₁ = 754 ab	SE ₂ = 3006 a	K ₂ = 4625 bc	S ₂ = 38,1 bc
SE ₁ = 107,0 b	SO ₂ = 2,7 b	SE ₂ = 639 ab	K ₁ = 1878 b	SO ₂ = 3953 cd	S ₁ = 37,1 c
SE ₂ = 104,7 bc	SE ₁ = 2,7 b	SO ₂ = 331 b	SO ₂ = 1670 b	K ₁ = 3689 de	K ₂ = 38,5 d
SO ₂ = 99,3 c	SO ₁ = 2,4 c	S ₁ = 330 b	SO ₁ = 1484 bc	SO ₁ = 3110 e	SE ₂ = 26,6 de
S ₁ = 70,6 d	S ₁ = 2,1 d	SO ₁ = 308 b	S ₁ = 819 cd	S ₁ = 1281 f	SO ₂ = 26,3 de
S ₂ = 69,7 de	B ₂ = 2,0 de	S ₂ = 173 b	S ₂ = 510 d	S ₂ = 1253 f	K ₁ = 25,8 de
B ₁ = 64,1 ef	S ₂ = 1,9 ef	B ₂ = 65 b	B ₂ = 196 d	B ₂ = 305 g	SE ₁ = 25,1 e
B ₂ = 63,0 f	B ₁ = 1,8 f	B ₁ = 61 b	B ₁ = 146 d	B ₁ = 202 g	SO ₁ = 21,7 f
30 ^o SR = 95,1 a					
45 ^o SR = 93,0 a					
60 ^o SR = 90,1 b					

* As médias dos valores, quando seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. K₁ = Kraft, 141 Na₂O; K₂ = Kraft, 151 Na₂O; SO₁ = Soda, 141 Na₂O; SO₂ = Soda, 161 Na₂O; SE₁ = Soda-enofofe, 141 Na₂O; SE₂ = Soda-enofofe, 161 Na₂O; S₁ = Sulfito neutro, 201 Na₂SO₃; S₂ = Sulfito neutro, 221 Na₂SO₃; B₁ = Bissulfito, 201 NaHSO₃; B₂ = Bissulfito, 221 NaHSO₃; CSR = Grau Schopper Riegler.

Em razão de situarem-se abaixo de 10 centipoises, os valores de viscosidade encontrados para os processos NSSC e bissulfito não foram estatisticamente analisados. Os baixos valores determinados para a viscosidade dessas polpas provavelmente não representam a realidade, uma vez que o alto teor de lignina deve ter impedido a completa dissolução dos carboidratos pela solução de etilenodiamina cúprica, resultando em valores irreais de baixa viscosidade.

4.4.2. Moagem das Celuloses

Os valores de grau de refinação iguais a 30, 45 e 60° foram escolhidos para comparação dos tratamentos por representarem: o início de refinação (30°SR); um dos níveis mais comumente utilizados pela indústria (45°SR) por/aliar resistência à boa drenagem na máquina de papel, e um ponto mais elevado (60°SR) para dar idéia melhor da influência do desenvolvimento da interligação das fibras nas propriedades físico-mecânicas estudadas.

Os dados relativos ao tempo de moagem e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 6 e 7a. Na análise estatística, por ter sido significativa a interação, houve necessidade de desdobramento.

Com relação à refinação das celuloses, a análise da variância dos resultados obtidos para tempo de moagem em relação ao grau de refinação indicou a existência de diferenças entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. Quando se determinou a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey, observou-se que algumas médias diferiram estatisticamente entre si. Verificou-se que com 30°SR a celulose que necessitou de menos tempo para ser refinada foi a do processo kraft com 14% de Na₂O e a que alcançou o maior tempo de refinação foi a do processo NSSC com 20% de Na₂SO₃. Quando o grau de moagem alcançou 45°SR, a celulose que necessitou de menos tempo para ser refinada era a do processo bissulfito com 20% de NaHSO₃ e a que levou mais tempo foi a celulose do processo NSSC com 20% de Na₂SO₃. Quando se elevou o grau de moagem para 60°SR, a celulose que refinou mais facilmente foi novamente a do processo bissulfito com 20% de NaHSO₃ e a mais lenta foi a do processo soda-enxofre com 22% de Na₂O. Verificou-se, portanto, maior facilidade de refinação das celuloses bissulfito para se atingir níveis mais altos de grau de refino.

4.4.3. Densidade Aparente

Os dados relativos à densidade aparente das folhas, expressos em g/cm³, e as respectivas análises estatísticas são apresentados nos Quadros 6 e 7 a.

No que se refere à densidade aparente das folhas de celulose, a análise feita pelo teste de Tukey, para os diversos processamentos, mostrou que o processo soda-enxofre com 14% de Na₂O conduziu ao maior valor. A seguir, também com altos valores, apareceram folhas do processo soda-enxofre, com 16% de Na₂O e do processo soda com 16% de Na₂O. As folhas de celulose que apresentaram as menores densidades aparentes pertenciam ao processo bissulfito.

As maiores densidades aparentes foram obtidas nas celuloses

com 60°SR. A influência da refinação foi significativa para essa propriedade: o aumento do tempo de moagem, dentro de um mesmo processo, ocasionou aumento da densidade aparente.

4.4.4. Resistência à Tração

Os dados relativos à resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 6 e 7 a.

O processo soda-enxofre com 14% de Na₂O foi o que apresentou a maior resistência à tração, e diferiu estatisticamente dos demais. A seguir, também com bons resultados, vieram os processos NSSC com 20% de Na₂SO₃, soda com 16% de Na₂O, kraft com 14 e 15% de Na₂O, soda-enxofre com 16% de Na₂O e NSSC com 22% de Na₂SO₃. A menor resistência à tração ocorreu no processo bissulfito.

Dentre os graus de refino estudados, o de 60°SR foi o que apresentou as maiores resistências à tração.

4.4.5. Resistência ao Arrebatamento

Os dados relativos à resistência ao arrebatamento, expressa pelo índice de arrebatamento, e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 6 e 7 a.

As celuloses dos processos kraft com 14 e 15% de Na₂O e soda-enxofre com 14% de Na₂O foram as que apresentaram as melhores resistências ao arrebatamento, os quais diferiram estatisticamente dos demais processos. Também apresentaram boa resistência as celuloses dos processos soda-enxofre com 16% de Na₂O e soda com 16% de Na₂O. O processo que apresentou menor resistência ao arrebatamento foi, novamente, o bissulfito.

O melhor grau de moagem para obtenção de maiores resistências ao arrebatamento foi o de 60°SR, que diferiu estatisticamente dos outros dois estudados.

4.4.6. Resistência ao Rasgo

Os dados relativos à resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 6 e 7 b.

As celuloses do processo kraft com 14 e 15% de Na₂O foram as que apresentaram as melhores resistências ao rasgo, e diferiram estatisticamente das demais, relativamente a essa propriedade. Também com boas resistências sobressairam as celuloses dos processos soda com 14% de Na₂O e soda-enxofre com 14 e 16% de Na₂O. A menor resistência ao rasgo ocorreu no processo bissulfito.

Os melhores graus de refino para obtenção de maiores resistências ao rasgo foram os de 30 e 45°SR, que diferiram estatisticamente de 60°SR.

Como a maioria das folhosas, a madeira da *Gmelina arborea* tem fibras curtas, o que resultou em resistência ao rasgo apenas razoável para suas celuloses.

4.4.7. Esticamento

Os dados relativos ao esticamento, expresso em porcentagem,

e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 6 e 7b.

Nessa análise, as celuloses que apresentaram os maiores valores para o esticamento foram as do processo kraft com 14 e 15% de Na₂O e soda-enxofre com 16% de Na₂O, os quais diferiram estatisticamente dos demais. Outras celuloses que também apresentaram aceitáveis esticamentos foram as dos processos soda-enxofre com 14% de Na₂O e soda com 16% de Na₂O. As celuloses que apresentaram os menores esticamentos pertenciam aos processos NSSC com 22% de Na₂SO₃ e bissulfito com 20% de NaHSO₃.

O melhor dos graus de refino estudados para obtenção dos maiores esticamentos foi o de 60°SR. Da mesma maneira como foi verificado para as resistências à tração e ao arrebentamento, os melhores resultados foram obtidos com o aumento do tempo de refino, o que pode ser atribuído à maior capacidade de interligação das fibras nos níveis mais elevados de graus Schopper Riegler.

4.4.8. Resistência ao Dobramento

Os dados relativos à resistência ao dobramento e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 6 e 7b. Durante as análises estatísticas, verificou-se interação significativa, tendo sido necessário fazer um desdobramento.

As maiores resistências ao dobramento a 30°SR verificaram-se nos processos kraft com 15% de Na₂O e soda-enxofre com 14% de Na₂O, que mostraram superioridade sobre os demais processos de deslignificação. Apareceram também com bons resultados as celuloses dos processos kraft com 14% de Na₂O e soda-enxofre com 16% de Na₂O. Os demais processos não diferiram estatisticamente entre si quanto à resistência ao dobramento a 30°SR.

Com relação às resistências ao dobramento a 45°SR, os processos kraft com 15% de Na₂O e soda-enxofre com 14 e 16% de Na₂O também alcançaram os melhores resultados, sendo que as menores resistências ao dobramento foram verificadas nos processos NSSC e bissulfito.

A 60°SR, as celuloses mais resistentes ao dobramento foram as do processo soda-enxofre; as celuloses com menores resistências foram observadas nos processos NSSC e bissulfito.

4.4.9. Alvura

Os dados de alvura das celuloses, expressos em graus GE, e as respectivas análises estatísticas aparecem nos Quadros 6 e 7b.

Os resultados obtidos para a alvura mostraram que o processo bissulfito apresentou a celulose mais clara. Também o processo sulfito neutro apresentou celulose bastante clara. Por outro lado, a menor alvura foi verificada no processo soda com 14% de Na₂O, que diferiu estatisticamente dos demais processos de deslignificação.

5. SUMMARY

This experiment was conducted to analyze the utilization of *Gmelina arborea* wood for pulp production. Different pulping processes were studied, including kraft, soda, soda-sulphur,

NSSC and bisulfite. Two cooking conditions were used for each process.

The best strength was observed for kraft pulps produced with 14 and 15 percent AA, followed by the soda-sulphur pulp with 14 percent AA. The soda pulp with 14 percent AA presented the lowest brightness. The highest beating times to reach 30 and 45°SR were required by the NSSC pulps. The NSSC pulps presented the highest yields, the highest percentage of reject (with 20 percent Na₂SO₃), the lowest percentage stretch (with 22 percent Na₂SO₃) and higher brightness than the alkaline pulps. The bisulfite pulps presented the lowest beating time to reach 45 and 60°SR, the highest brightness, the lowest strength and the lowest apparent density.

The recommended process best suited to pulp *Gmelina arborea* wood will depend on the desired pulp characteristics and on the economic factors related to each individual mill.

6. LITERATURA CITADA

- BOULET-GERCOURT, M. Monographie du *Gmelina arborea*. *Revue Bois et Forêts des Tropiques* 127:3-22. 1977.
- CHITTENDEN, A.E.; COURSEY, D.A.; ROBITI, J.O. Papermaking trials with *Gmelina arborea* in Nigeria. *Tappi* 47(12): 186A-192A. 1964.
- DDAT, J. Caractéristiques papetières d'une essence tropicale de reboisement: le *Gmelina arborea*. *Revue Bois et Forêts des Tropiques* 168:47-63. 1976.
- FOELKEL, C.E.B.; CASTRO, N.S.; ZVINAKEVICIUS, C.; SIQUEIRA, L.R.O. Pequena monografia sobre a produção de celulose de *Gmelina arborea*. *O Papel* 39(11): 81-88. 1978.
- GUHA, S.R.D. & SAXENA, V.B. Writing, printing and wrapping papers from *Gmelina arborea*. In: *Chemical Abstracts* 56: 2615C. 1962.
- HUGHES, J.F. & ESAN, D. Variation in some structural features and properties of *Gmelina arborea*. *Tropical Science* 11(1):23-37.
- LAVOR, J.I.L. De & MOREIRA NETO, J. *Gmelina arborea*, perspectivas para o Nordeste. *Brasil Florestal* 7(25): 35-41. 1976.
- PALMER, E.R. & GIBBS, J.A. Pulping characteristics of *Gmelina arborea* and *Bursera simaruba* from Belize. *Tropical Products Institute*. 21 p. 1974.
- PEH, T.B. Pulping studies on Malayan exotic species. In: *Chemical Abstracts* 63:18448C. 1965.
- SMITH, J.B. & PRÍMAKOV, S.F. Chemical and morphological characteristics of some tropical hardwoods. *Appita* 30 (5):405-406. 1977.

11. SOZANWO, O. & LINDBERG, J.J. Studies on *Gmelina arborea*.
(2). Fiber dimensions and some anatomical aspects of
Nigerian *Gmelina arborea* wood. *Paperi Puu* 57(7):482-485.
In: *ABIPC* 46(7):737, Abstr. 7062. 1976.
12. SOSANWO, O. & LINDBERG, J.J. Studies on *Gmelina arborea*.
(1). Chemical composition of Nigerian *Gmelina arborea*
wood species. *Paperi Puu* 57(4a):225-226, 229-231. In:
ABIPC 47(4):432. Abstr. 3921. 1975.

INDEXADO

A MANCHA DE FOLHA DO EUCALIPTO NO BRASIL CAUSADA POR TRÊS ES-
PÉCIES DE *Cylindrocladium* - UMA REVISÃO DA DESCRIÇÃO DA DOENÇA*

Acelino Couto Afenas
Francisco Alves Ferreira**

Resumo

Desde 1973, vem-se observando, praticamente em todas as re-
giões do Brasil, uma enfermidade do eucalipto que apresenta
manchas de folha e desfolha. Quatro espécies de
Cylindrocladium, *C. crotonariae*, *C. ilicicola*, *C. scoparium* e
C. theae, podem causar a doença, e somente a última espécie
ainda não foi constatada no Brasil. Os sintomas da doença não
diferem para os quatro fungos. Experimentalmente, os três pa-
tógenos foliares que ocorrem em nossas condições foram também
capazes de causar tombamento de mudas. Parece que a doença é
comum no eucalipto em áreas tropicais, uma vez que ocorre tam-
bém na Costa Rica e no Havaí. Elevada incidência da doença tem
ocorrido em *E. cloëziana*, numa procedência australiana de *E.*
grandis e em *E. urophylla*. Plantações fortemente atacadas e
com desfolha durante seis meses ou mais no ano têm-se recupe-
rado naturalmente, dispensando-se, até o momento, medidas de
controle. Com base na incidência natural da doença, várias espé-
cies foram mencionadas, apresentando baixíssimo nível de in-
fecção ou ausência da doença. Detalhes sobre sintomatologia da
doença, hospedeiros, características morfológicas e culturais
e patogenicidade dos agentes causais foram também fornecidos.

1. INTRODUÇÃO

A partir de 1970, extensas plantações comerciais e vasta
experimentação, com a introdução de espécies e procedências de
Eucalyptus, vêm-se estabelecendo em regiões mais tropicais do
Brasil. Nessas áreas, observam-se várias enfermidades que cau-
sam sérias preocupações à eucaliptocultura.

Em 1973, em Nova Era, MG, uma plantação de *Eucalyptus*

* Recebido para publicação em 3/02/1979.

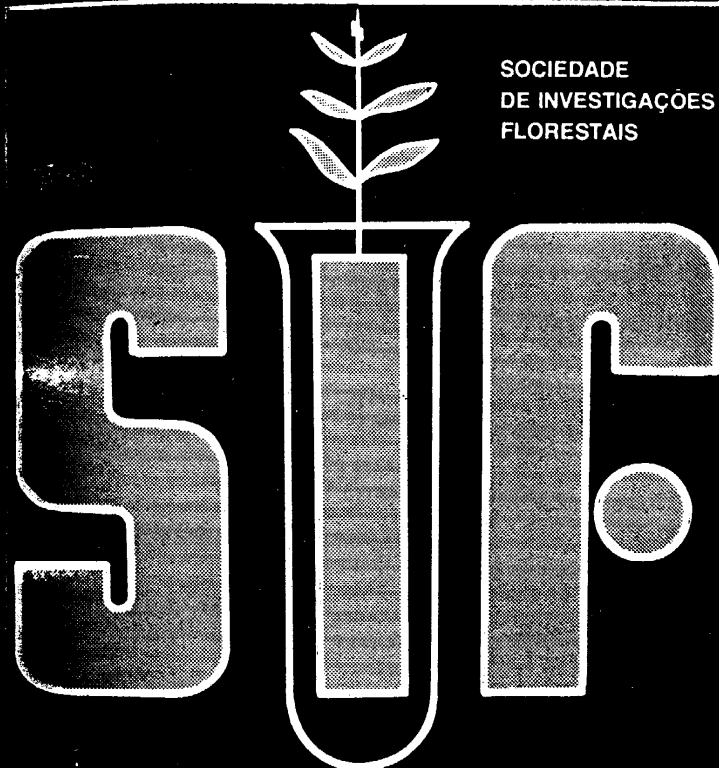
** Professores Colaboradores da U.F.V.

SUMÁRIO

Classificação de sítios florestais mediante três métodos de análise da vegetação natural - <i>Celestino Aspiázu</i>	1
Estudo da densidade básica da madeira de <i>Eucalyptus microcorys</i> F. Muell, cultivado na região de Dionísio, MG - <i>Amaury Paulo de Souza, Ricardo Marius Della Lucia e Gustavo Cerqueira de Resende</i>	16
Aproveitamento industrial da madeira de <i>Gmelina arborea</i> Roxb. para produção de celulose - <i>Nadir Silva Castro, Celso E. B. Foelkel e José Livio Gomide</i>	28
A mancha de folha de eucalipto no Brasil causada por três espécies de <i>Cylindrocladium</i> - Uma revisão da descrição da doença - <i>Acelino Couto Alfenas e Francisco Alves Ferreira</i>	47
Estudo da bionomia e controle microbiológico de <i>Oxydia apidania</i> (Cramer) (Lepidoptera: Geometridae), desfolhador de eucalipto - <i>Germi Porto Santos, Evaldo Ferreira Vilela e Sebastião Bastos Nogueira</i>	57
Controle químico e microbiológico de <i>Euselasia apisaon</i> (Lepidoptera: Riodinidae) em condições de laboratório e de campo - <i>José Cola Zanuncio, Nelson Suplicy Filho, Evaldo Ferreira Vilela e Abdon Braga de Faria</i>	75
Estudos sobre infiltração d'água no solo em povoamentos de <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> e <i>Bombax</i> sp. - <i>Oswaldo Ferreira Valente, Paulo Sant'Anna e Castro, Hélio Alves Vieira e Francisco de Paula Neto</i>	88
Estudos dendrológicos da regeneração natural na microrregião de Viçosa, MG. I. Identificação e descrição de algumas espécies - <i>Zenestio Finger, Roberto da Silva Ramalho, Renato Mauro Brandi e José Flávio Cândido</i> ...	94

revista

SOCIEDADE
DE INVESTIGAÇÕES
FLORESTAIS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Viçosa — Minas Gerais — Brasil

