

# ANATOMIA E DENDROMETRIA DE *MIMOSA ARTEMISIANA* E *EUCALYPTUS GRANDIS*<sup>1</sup>

JOSÉ ELIAS DE PAULA<sup>2</sup>

RESUMO - A madeira torna-se mais pesada à medida que a árvore envelhece, pois a densidade básica da parte mais interna do tronco, que foi formada quando a árvore era mais nova, é mais baixa, quando comparada com a densidade da parte mais externa. Com este trabalho pretendeu-se conferir a densidade e verificar se a madeira apresentava diferença anatômica com o aumento da idade, bem como gerar conhecimento biotecnológico seguro que sirva de subsídio ao melhor aproveitamento da madeira, especialmente no que concerne à geração de energia. O estudo baseou-se em quatro áreas da seção circular do tronco, obtidas na altura do DAP (a 1,30 m do solo), orientadas do centro para o alburno. As árvores estudadas tinham 24 anos de idade. A densidade básica de *Mimosa artemisiana* foi: área 1 (0,66 g/cm<sup>3</sup>), área 2 (0,75), área 3 (0,90) e área 4 (0,90); a de *Eucalyptus grandis* foi: área 1 (0,64 g/cm<sup>3</sup>), área 2 (0,66), área 3 (0,83) e área 4 (0,86 h/cm<sup>3</sup>). O rendimento de *Mimosa artemisiana* por estimativa foi de 944,492 toneladas de madeira seca por hectare, e o de *Eucalyptus grandis*, de 836,741 toneladas. Em *Mimosa artemisiana*, o número de vasos por mm<sup>2</sup> foi de 7,7, 6, 4,2 e 3, respectivamente, na área 1, área 2, área 3 e área 4, enquanto, em *Eucalyptus grandis*, o número de vasos por mm<sup>2</sup> foi de: área 1 (23), área 2 (8), área 3 (8) e área 4 (5).

Termos para indexação: madeira, árvore, tronco, idade, biotecnologia, energia.

## ANATOMY AND DENDROMETRY OF *MIMOSA ARTEMISIANA* AND *EUCALYPTUS GRANDIS*

ABSTRACT - The study was based on four areas from the inner part of circulate sample of stem towards the periphery. It was obtained of the diameter at breast height (DBH) of stem. The trees studied were 24 years old, including those that were part of the dendrometric inventory. The gravity density of the four areas in *Mimosa artemisiana* were as following: area 1 (0.66 g/cm<sup>3</sup>), area 2 (0.75), area 3 (0.90) and area 4 (0.90 g/cm<sup>3</sup>), whereas those of *Eucalyptus grandis* were: area 1 (0.64 g/cm<sup>3</sup>), area 2 (0.66), area 3 (0.83) and area 4 (0.86 g/cm<sup>3</sup>). Dry wood yields of *M. artemisiana* and *E. grandis* per hectare were approximately 944.492 tons and 836.741 tons respectively. Number of vessels per mm<sup>2</sup> in *Mimosa artemisiana* was: area 1, (7.7 vessels), area 2 (6), area 3 (4.2) and area 4 (3), and in *Eucalyptus grandis* was: area 1 (23), area 2 (8), area 3 (8) and area 4 (5 vessels). In *M. artemisiana*, the wall fraction of fibres was: area 1 (43.33%), area 2 (37.66%), area 3 (77,16%) and area 4 (78,29%) and *E. grandis* was: area 1 (66.66%), area 2 (73,33%) area 3 (73,75%) and area 4 (73,75%).

Index terms: wood, tree, stem, age, biotechnology, energy.

## INTRODUÇÃO

Dentro do contexto de biomassa, a celulose, as hemiceluloses, a lignina, a inulina, o amido e o óleo vegetal são as melhores matérias-primas renováveis de que o mundo dispõe para a produção de energia

(Paula & Alves, 1989). No entanto, do ponto de vista econômico e ecológico, não é indicada a utilização de qualquer tipo de madeira para a produção de carvão, álcool, lenha e coque metalúrgico, bem como não é viável a exploração de madeira jovem para geração de energia, em virtude de apresentar baixo rendimento de celulose, hemiceluloses e lignina por unidade de tempo (idade) e de área plantada (Barrichelo & Brito, 1976). Esses autores registraram aumento da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. à medida que as árvores se torna-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 17 de abril de 1995.

Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

<sup>2</sup> Biólogo, Univ. de Brasília, Inst. de Ciências Biológicas, Depto. de Botânica, CEP 70910-900 Brasília, DF. Bolsista do CNPq.

vam mais velhas. O aumento da densidade da madeira corresponde a mais celulose, hemicelulose e lignina.

Estudos da ONU revelam que entre os anos de 1980 e 2000 o planeta Terra perderá 1/3 do solo, 50% das florestas e 11% da água, enquanto a população global crescerá 60% (Pádua, 1981).

Outra questão preocupante em relação à perspectiva de destruição, sem precedentes, de ecossistemas na história da vida na Terra diz respeito à substituição da energia fóssil, portanto finita, por energia renovável, quase infinita. Atualmente, o consumo brasileiro de petróleo é da ordem de 511.000.000 de barris anuais. Para substituir esse total por álcool produzido a partir de madeira de *Eucalyptus* spp. com sete anos de idade, seria necessária uma área de 3.107.472 km<sup>2</sup> plantada de florestas de *Eucalyptus*; e se hoje o desenvolvimento do Brasil fosse igual ao dos Estados Unidos, ou seja, dez vezes superior, a área exigida seria de 36.074.720 km<sup>2</sup> (Paula, 1992) para plantio de *Eucalyptus* spp.

O escopo deste trabalho é gerar conhecimento biotecnológico e estabelecer parâmetros seguros que sirvam de subsídios para o melhor aproveitamento da madeira, notadamente no que concerne à produção de energia.

## MATERIAL E MÉTODOS

*Mimosa artemisiana* Heringer & Paula (Leguminosae), conhecida por manjoleiro, e *Eucalyptus grandis* W. Hilf. ex Maiden (Myrtaceae) foram as duas espécies estudadas.

As amostras de madeira foram coletadas pelo autor, em dezembro de 1991, de árvores com vinte e quatro anos de idade, plantadas pelo Prof. Dr. Ezechias Paulo Heringer, no início de 1968, na Estação Biológica Experimental (solo de cerrado) da Universidade de Brasília, onde o autor pôde acompanhar o seu desenvolvimento até esta data. O plantio não sofreu nem desbaste nem queimadas, porém submeteu-se anualmente a período de seca entre junho e outubro. As sementes de *M. artemisiana* foram coletadas de árvores da floresta de Coronel Pacheco em Minas Gerais (Heringer & Paula, 1979). Não há registros quanto à procedência das sementes *E. grandis*. As amostras circulares foram tiradas de três árvores de cada espécie, na altura do DAP (diâmetro à altura do peito: 1,30 m). O material botânico fértil (ramos com folhas, flores e frutos) foi incor-

porado ao acervo dos Herbários da Universidade de Brasília (UnB) e da Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): *Mimosa artemisiana*, E.P. Heringer 15506 (IBGE), *Eucalyptus grandis*, J.E. Paula 3337 (UnB).

De cada amostra circular preparou-se um corpo de prova em forma de cunha, da qual providenciaram-se quatro blocos com seis faces em áreas disjuntivas, orientadas do centro para a periferia (Figs. 1 e 7). Desses blocos foram realizados cortes histológicos no micrótomo Jung, cuja espessura variou entre 25 e 40 micrômetros. Os referidos blocos foram previamente colocados no autoclave para amolecimento da madeira, sob pressão (uma atmosfera) e à temperatura de 120 °C, durante 16 horas.

A fração parede dos elementos celulares constituintes da madeira foi determinada pela fórmula  $100 \cdot 2e / D$ , onde (e) representa a espessura da parede e D, o diâmetro total da célula, valor dado em percentagem (Barrichelo & Brito, 1976; Paula, 1989).

A contagem de vasos por mm<sup>2</sup> bem como a de raios por mm linear foi feita com o auxílio de câmara clara e escalas micrométricas ocular e objetiva.

Mediu-se a espessura da parede celular, o diâmetro dos vasos, das fibras e das células parenquimatosas, bem como a largura e altura dos raios, o comprimento das fibras e dos elementos de vasos, usando uma escala micrométrica ocular com fator de correção conhecido.

Determinou-se o coeficiente de rigidez das fibras pela relação percentual entre o diâmetro do lume (d) sobre o diâmetro total (D),  $100 \cdot d/D$  (Paula, 1993).

O coeficiente de flexibilidade das fibras, conhecido também por índice de feltragem, foi determinado pela razão do comprimento (L) da fibra sobre a largura (W).

O índice de Runkel é a razão de duas vezes a espessura da parede da fibra sobre o diâmetro do lume:  $2e/d$ . Esse índice, na prática, tem o mesmo significado do coeficiente de rigidez. O diâmetro do lume é o diâmetro total menos duas vezes a espessura da parede. Foi com base nesse índice que Runkel (1952) propôs os seguintes grupos: I - até 0,25 a fibra é considerada excelente para papel; II - de 0,25 a 0,50, muito boa para papel; III - de 0,5 a 1,0, boa para papel; IV - de 1,0 a 2,0, regular para papel; e V - acima de 2,0, não serve para papel.

O percentual de fibras foi determinado pela utilização de fotomicrografias de cortes transversais com área conhecida e, com um planímetro, fez-se a leitura das áreas ocupadas pelas fibras.

A densidade básica (DB) foi determinada por amostras de madeira seca (peso constante) em estufa, à temperatura de 105 °C; em seguida, procedeu-se à relação direta entre o peso seco e o volume da respectiva amostra

hidratada (saturada com peso constante), valor registrado em  $\text{g/cm}^3$ . O rendimento por  $\text{m}^3$  de madeira seca foi determinado com base na densidade básica média das quatro áreas referidas.

Os valores constantes das Tabelas 1 a 3 refletem a média, inclusive da altura e largura dos raios e densidade básica.

Quanto à dendrometria, foram estudadas 67 árvores de *Mimosa artemisiana* e 67 de *Eucalyptus grandis*, todas com 24 anos de idade, existentes nos plantios referidos, de aproximadamente  $402 \text{ m}^2$  para cada espécie, que corresponderam a cerca de  $6 \text{ m}^2$ , em média, por árvore. Foram plantadas mais de 67 mudas em cada área; algumas pereceram no decorrer do tempo. Os espaçamentos dos plantios não foram rigorosamente de  $2 \times 3 \text{ m}$ .

Mediu-se, com suta dendrométrica, o diâmetro inferior (Di) a 10 cm do solo, o DAP (a 1,30 m) e o diâmetro superior (Ds) dos troncos. A altura e o diâmetro superior dos troncos, bem como o comprimento e o diâmetro inferior e superior dos galhos foram medidos por auxiliares de campo bem treinados em subida de árvores, com a orientação do autor. Nos galhos, mediu-se o diâmetro inferior (5 cm acima da bifurcação) e o diâmetro superior (5 cm abaixo da bifurcação seguinte) sempre que o diâ-

metro inferior fosse igual ou superior a 5 cm e o superior tivesse até 4 cm.

O volume (V) dos troncos com casca foi determinado pela fórmula de Smailian:  $V = (A1 + A2) / 2 \times h$ , onde  $A1 = D1^2 \times 0,7854$ , que corresponde à área transversal inferior;  $A2 = Ds^2 \times 0,7854$ , que corresponde à área transversal superior; e (h) representa a altura ou o comprimento (Silva, 1975).

A área basal foi determinada pela fórmula:  $g = 0,7854 \times \text{DAP}^2$ . O fator de forma foi determinado pela razão do diâmetro superior sobre o DAP.

As fotomicrografias foram obtidas no fotomicroscópio Zeiss-II. A escala micrométrica foi fotografada com o mesmo aumento da fotografia correspondente. Quanto à anatomia, adotou-se a terminologia recomendada pela IAWA Bulletin (1989).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Anatomia

Quando o caule de uma espécie arbórea cessa a sua fase de crescimento primário, inicia-se a fase de

TABELA 1. *Mimosa artemisiana*.

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
<b>Vasos</b>				
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	111	122	156	194
Quantidade ( $\text{mm}^2$ )	7,7	6	4,2	3
Fração parede (%)	10,20	6,49	7,57	8,69
<b>Raios</b>				
Altura (mm)	0,233	0,264	0,274	0,287
Quantidade (mm linear)	11	10	8	7
Largura ( $\mu\text{m}$ )	26	20	18	17
<b>Fibras</b>				
Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	2,99	5,29	5,36	5,48
Fração parede (m%)	43,33	76,66	77,66	78,29
Quantidade (%)	56	61	65	68
Coefficiente de flexibilidade	44	40	58	53
Coefficiente de rigidez	56,67	23,34	22,34	21,71
Índice de Runkel	0,75	3,34	3,47	3,63
Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	795	813	920	1021
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	13,80	13,80	13,80	14
Largura ( $\mu\text{m}$ )	18	20	16	19
<b>Elementos de vasos</b>				
Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	282	288	278	298
Largura ( $\mu\text{m}$ )	154	174	183	240
<b>Densidade básica (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	<b>0,66</b>	<b>0,75</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>

**TABELA 2. *Eucalyptus grandis*.**

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
<b>Vasos</b>				
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	53	76	78	104
Quantidade ( $\text{mm}^2$ )	23	8	8	5
Fração parede (%)	14,8	14	8,2	8,6
<b>Raios</b>				
Altura (mm)	0,152	0,200	0,220	0,220
Quantidade (mm linear)	16	10	8	8
Largura ( $\mu\text{m}$ )	13	17	18	22
<b>Fibras</b>				
Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	4	5	6,78	6,78
Fração parede (%)	66,66	73,33	73,75	73,75
Quantidade (%)	66	69	72	74
Coefficiente de flexibilidade	42	59	61	62
Coefficiente de rigidez	34,34	26,37	26,25	26,25
Índice de Runkel	0,49	1,2	2,0	2,0
Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	702	984	998	1001
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	13,8	13,8	18,4	18,4
Largura ( $\mu\text{m}$ )	17	17	19	19
<b>Elementos de vasos</b>				
Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	427	448	496	478
Largura ( $\mu\text{m}$ )	101	150	150	154
<b>Densidade básica (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	<b>0,64</b>	<b>0,66</b>	<b>0,83</b>	<b>0,86</b>

**TABELA 3. Dendrometria das 67 árvores de cada espécie, biomassa, densidade básica média, umidade e DAP médio dos troncos.**

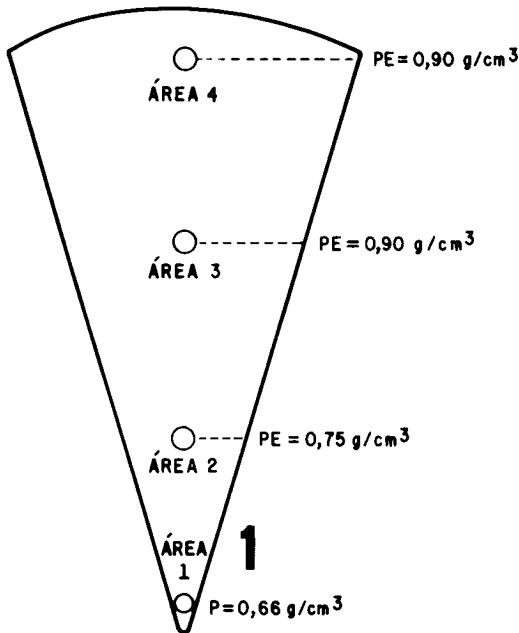
Parâmetros	<i>Mimosa artemisiana</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Volume dos troncos ( $\text{m}^3$ )	32,9844	44,9252
Volume dos galhos ( $\text{m}^3$ )	14,4679	0,0818
Volume total ( $\text{m}^3$ )	47,4523	45,0070
Densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0,802	0,747
Biomassa total do tronco ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )	26,387	33,245
Biomassa total dos galhos ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )	11,574	0,065
Biomassa total das 67 árvores ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )	37,961	33,331
Área basal ( $\text{m}^2$ )	5,4761	4,3785
Fator de forma (média)	0,657	0,386
DAP médio dos 67 troncos (cm)	28,20	22,67
Diâmetro inferior médio (cm)	35,07	28,10
Diâmetro superior médio (cm)	19,55	8,30
Altura média dos troncos (m)	6,12	9,59
Umidade da madeira (%)	33,39	35,35

crescimento secundário; portanto, é a partir daí que começa a se formar o lenho secundário, isto é, a madeira. Assim sendo, quando o tronco está bem desenvolvido, com 20 cm de diâmetro, por exemplo, a parte central do tronco é a mais velha, e a periférica, a mais nova, formada por último. Foi com o objetivo de verificar a ocorrência de diferença estrutural anatômica da madeira em decorrência do aumento da idade da árvore, que foram analisados cortes histológicos obtidos de quatro partes dos troncos, utilizando-se amostras circulares, orientadas do centro para a periferia, denominadas área 1, área 2, área 3 e área 4 (Figs. 1 e 7).

Para melhor compreensão e facilidade de análise, reuniu-se grande parte dos dados anatômicos e dendrométricos nas Tabelas de 1 a 3.

#### *Mimosa artemisiana* (Figs. 1 a 6)

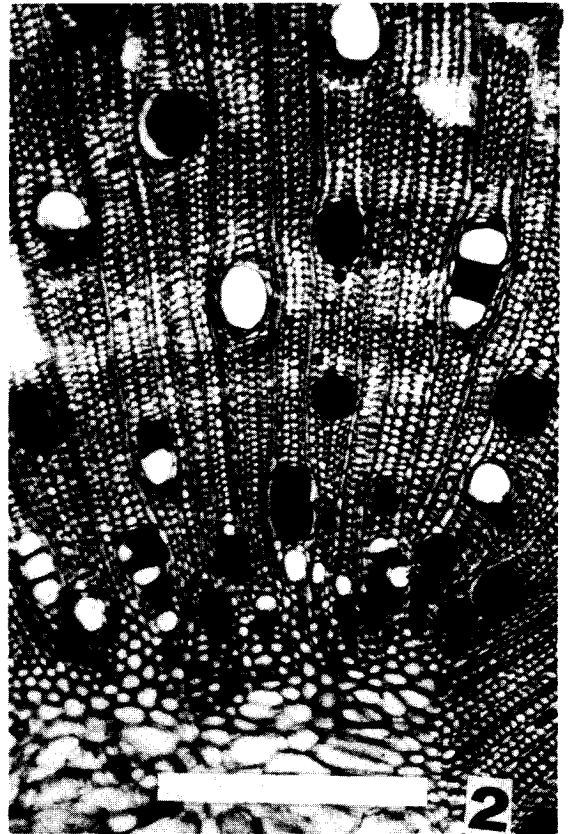
Vasos - a distribuição foi difusa nas quatro áreas: na área 1, 64% dos vasos foram solitários,



*Mimosa artemisiana* com 24 anos de idade

**FIG. 1.** *Mimosa artemisiana* - desenho esquemático da madeira, indicando as áreas estudadas.

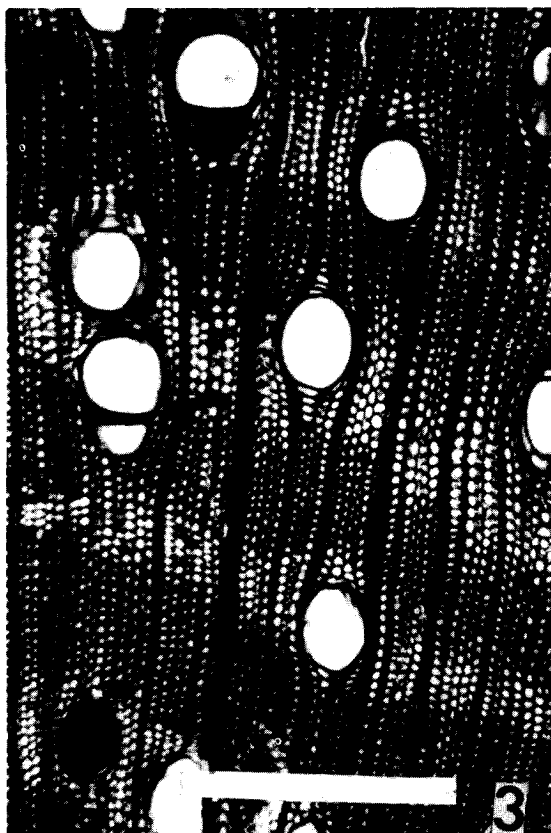
25%, geminados e 11%, múltiplos radiais de até seis elementos; na área 2, 42% foram solitários, 21%, geminados e 37%, múltiplos radiais de até quatro elementos; nas áreas 3 e 4, os solitários foram da ordem de 46%, os geminados, 16% e 38% foram múltiplos radiais de até cinco elementos. O número de vasos por  $\text{mm}^2$  diminuiu do centro para a periferia do tronco: na área 1, variou entre seis e oito; na área 2, entre cinco e sete; na área 3, de dois a seis e na área 4, a variação se situou entre dois e quatro. O inverso aconteceu com o diâmetro tangencial, que aumentou do centro em direção ao alburno: na área 1, de 70 a 140 micrômetros; na área 2, entre 100 e 160; na área 3, de 130 a 210, enquanto, na área 4, situou-se entre 150 e 240 micrômetros. Elementos de vasos apresentaram apêndice curto em uma das extremidades, cuja placa de perfuração era simples, total e terminal; as pontuações intervasculares foram alternas, areoladas e guarnecidas (Tabela 1).



**FIG. 2.** *Mimosa artemisiana* - corte transversal da área 1, mostrando vestígios da estrutura primária, inclusive protoxilema e células do parênquima medular (escala de 200 micrômetros).

**Parênquima axial** - Foi paratraqueal e freqüente em faixas estreitas confluentes na área 1; nas áreas 2, 3 e 4, esse parênquima foi moderadamente abundante e apresentou-se em faixas mais largas, longas ou curtas, confluentes, às vezes aliformes; a fração parede das células parenquimatosas desse parênquima foi de 13,52% na área 1, na área 2, 17,0%, na área 3, 17,85% e na área 4, a fração parede foi da ordem de 20%. Camadas de crescimento foram raramente evidentes.

**Raios** - Foram homogêneos; nas quatro áreas os raios foram, predominantemente, 2; raramente 1 ou 3-seriados. Quanto à quantidade de raios por milímetro linear, a variação foi mínima entre as áreas:



**FIG. 3.** *Mimosa artemisiana* - corte transversal da área 2, escala de 200 micrômetros (Áreas claras é o parênquima axial; áreas negras são fibras, áreas brancas semicirculares são vasos, e faixas negras radiais são raios).

na área 1 variou entre oito e doze; na área 2, de três a nove; nas áreas 3 e 4, a variação se situou entre sete e dez. Quanto à largura, na área 1 variou entre 23 e 29 micrômetros; na área 2, de 17 a 23; na área 3 e 4, entre 14 e 21 micrômetros. No que concerne à altura, a variação foi mais proeminente: na área 1, entre 0,138 e 0,376 mm; na área 2, de 0,146 a 0,396 mm; na área 3, de 0,144 mm a 0,452 mm; e na área 4, entre 0,157 e 0,498 mm. A fração parede das células radiais aumentou do centro em direção ao albúrnio: na área 1, 14,31%; na área 2, 17,50%; na área 3, 20,33%; e na área 4, 21,22%.

**Fibras** - A variação no comprimento desses elementos celulares foi significativa. Aumentou à me-

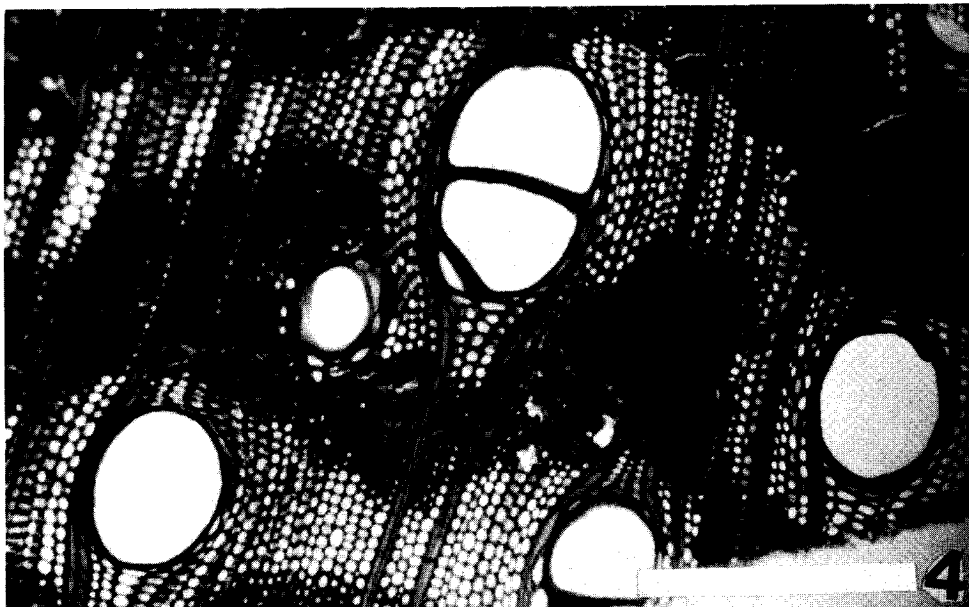
da que se afastava do centro do tronco em direção ao albúrnio. Na área 1, variou entre 570 e 910 micrômetros; na área 2, de 760 a 1.000; na área 3, entre 820 e 1.080; e na área 4, de 900 a 1.240 micrômetros de comprimento. Quanto à fração parede das fibras, a mais baixa foi notada na área 1 (44,33%) e na área 2 (76,66%). Nos cortes histológicos da parte mais interna da madeira, observaram-se vestígios do parênquima medular da estrutura primária, representados por células parenquimatosas de parede moderadamente espessa e fortemente lignificada e por elementos do xilema primário, onde se notou claramente o protoxilema e o metaxilema (Fig. 2). Índice de Runkel: área 1 (0,75, grupo III), área 2 (3,34%), área 3 (3,47%) e área 4 (3,63%, grupo V).

#### *Eucalyptus grandis* (Figs. 7 a 11)

**Vasos** - A distribuição foi difusa em todas as áreas, às vezes em diagonal, predominantemente solitária (97%), ocorrendo também geminada (2%) e em múltiplos radiais de até quatro elementos (1%), alguns com tilos. A quantidade de vasos por mm<sup>2</sup> diminuiu do centro para a periferia do tronco: entre 19 e 27, na área 1; na área 2, de 11 a 24; na área 3, entre 3 e 10; e na área 4, entre 2 e 8. O diâmetro tangencial aumentou do centro para a periferia do tronco: de 40 a 68 micrômetros na área 1; na área 2, de 61 e 89; na área 3 situou-se entre 64 e 94; e na área 4, entre 91 e 123 micrômetros. Elementos de vasos com apêndice em uma das extremidades eram dotados de placa de perfuração simples, terminal e total; as pontuações intervasculares eram alternas e areoladas.

**Parênquima axial** - Foi paratraqueal, pouco em todas as quatro áreas, e às vezes apotraqueal, representado por células isoladas; a fração parede das células parenquimatosas foi de 17,20% na área 1, na área 2 foi de 18,23, nas áreas 3 e 4 foi da ordem de 20%.

**Raios** - Foram homogêneos, predominantemente 1-seriados na área 1 (94%), raramente 2-seriados (6%); na área 2, 3 e 4 predominaram os 2-seriados (72%) e os 1-seriados (28%). A largura apresentou pequena diferença entre os raios das quatro áreas: a mais estreita na área 1 (entre 9 e 20 micrômetros); na área 2, situou-se entre 9 e 23; na área 3, de 14 a



**FIG. 4.** *Mimosa artemisiana* - corte transversal da área 4, mostrando vasos de diâmetro bem maior quando comparados com os da área 1 (escala de 200 micrômetros).

25; e na área 4, de 9 a 27 micrômetros. Quanto à altura, a diferença maior foi verificada entre a área 1 (0,10 a 0,15 mm) e a área 2 (entre 0,17 e 0,25 mm), enquanto, nas áreas 3 e 4, a altura variou de 0,20 a 0,26 mm.

**Fibras** - O comprimento aumentou consideravelmente à medida que a árvore se tornava mais velha, ou seja, do centro em direção ao albúrnio: na área 1, o comprimento variou entre 600 e 780 micrômetros; na área 2, de 820 a 1.220; na área 3, entre 920 e 1.240; e na área 4, de 945 a 1.310 micrômetros. O índice de Runkel foi da ordem de 0,49 na área 1 (grupo II); na área 2, foi de 1,2 (grupo III); e, nas áreas 3 e 4, de 2,0 (grupo IV). Os índices das quatro áreas indicam que as fibras têm vocação para a produção de papel.

#### Dendrometria

*Mimosa artemisiana* - O volume total de madeira das 67 árvores foi de 47,4523 m<sup>3</sup>, sendo 32,9844 provenientes dos troncos e 14,4679 das copas (galhos), cuja média foi de 0,7082 m<sup>3</sup> por árvore. Em

termos de toneladas, o rendimento total foi de 37,961, sendo 26,387 dos troncos, 11,574 das copas e média de 566,58 kg por árvore (Tabela 3).

*Eucalyptus grandis* - O volume total das 67 árvores foi da ordem de 45,0070 m<sup>3</sup>, sendo 44,9252 dos troncos e 0,0818 das copas, 67,1664 m<sup>3</sup> por árvore, enquanto o rendimento foi de 33,331 toneladas de madeira seca, sendo 32,20 ton dos troncos e 0,065 dos galhos, cuja média foi da ordem de 497,47 kg por árvore.

A literatura registra dados segundo os quais a densidade da madeira de *Eucalyptus* spp. aumenta à medida que a árvore se torna mais velha (Barichelo & Brito, 1976). Nossos resultados indicam que isso decorre do incremento do ritmo do processo de formação de biomassa, com reflexos na elevação da densidade. Assim, depreende-se que as árvores se tornam mais promissoras na produção de celulose, lignina e hemiceluloses com o do aumento da idade.

Com base nos resultados anatômicos de *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus grandis*, são necessárias algumas considerações sobre o mecanismo que se



FIG. 5. *Mimosa artemisiana* - corte tangencial da área 1 (a parte clara é o parênquima axial, onde ocorrem raios; nas partes negras, vêem-se raios entre fibras), escala de 200 micrômetros.

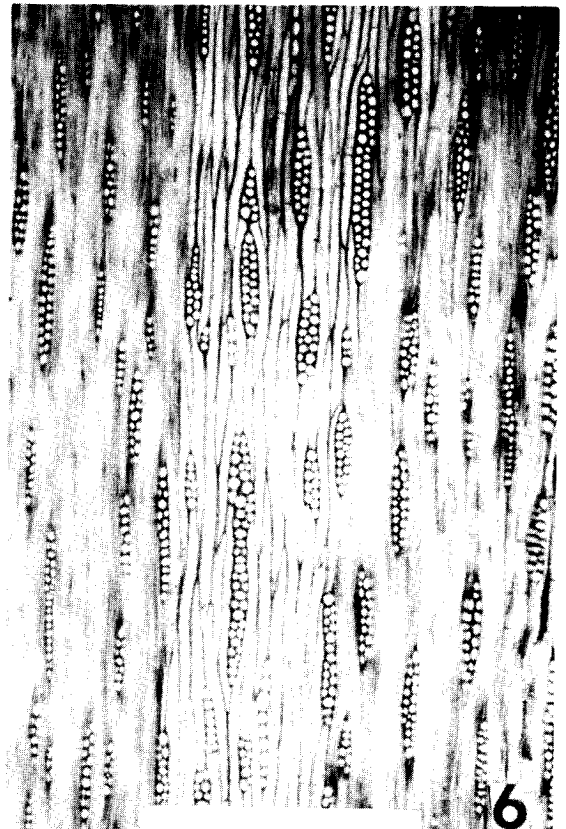


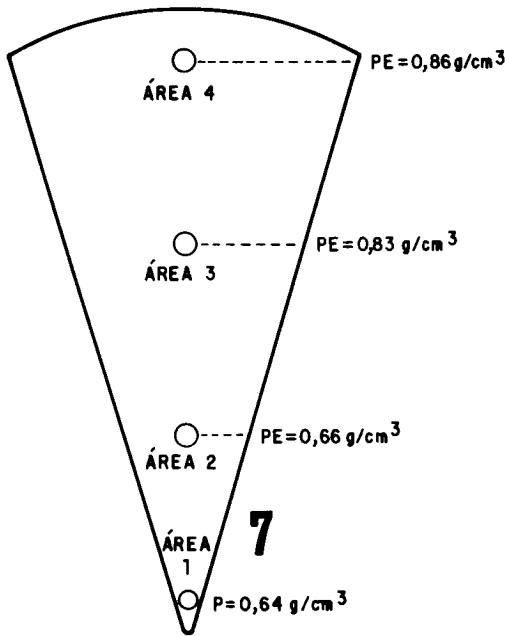
FIG. 6. *Mimosa artemisiana* - corte tangencial da área 4, escala de 200 micrômetros. Nota-se pouca diferença em relação à estrutura da área 1.

processa com os elementos celulares constituintes da madeira, que contribui para a elevação do incremento de matéria orgânica, especialmente celulose, hemiceluloses e lignina, induzindo assim a elevação da densidade da madeira de acordo com o aumento da idade da árvore. Como se sabe, as células cambiais são de dois tipos: as iniciais radiais, que formam os raios, e as iniciais fusiformes, que formam o sistema axial da madeira (fibras, vasos, traqueídes e parênquima axial). As iniciais fusiformes aumentam de comprimento e largura à medida que a árvore envelhece (Esau, 1977).

As considerações acerca dessa discussão, traduzidas em hipóteses, dizem respeito a: a) redu-

ção acentuada do número de vasos por  $\text{mm}^2$  e dos raios por  $\text{mm}$  linear; b) aumento da fração parede das fibras e das células parenquimatosas; c) aumento da espessura da parede das fibras; d) aumento da quantidade de fibra em função da idade do tronco. Em todos os casos, sempre do centro em direção ao alburno. A redução de vasos por  $\text{mm}^2$ , por exemplo, abre espaços a favor das fibras. Mesmo com o aumento do diâmetro dos vasos, há saldo de espaços, pois em *Eucalyptus grandis*, por exemplo, a soma do diâmetro dos 23 vasos da área 1 foi da ordem de 1.219 micrômetros, a soma do diâmetro dos oito vasos da área 2 correspondeu a 608 micrômetros, a dos oito vasos da área 3 foi da ordem de 624



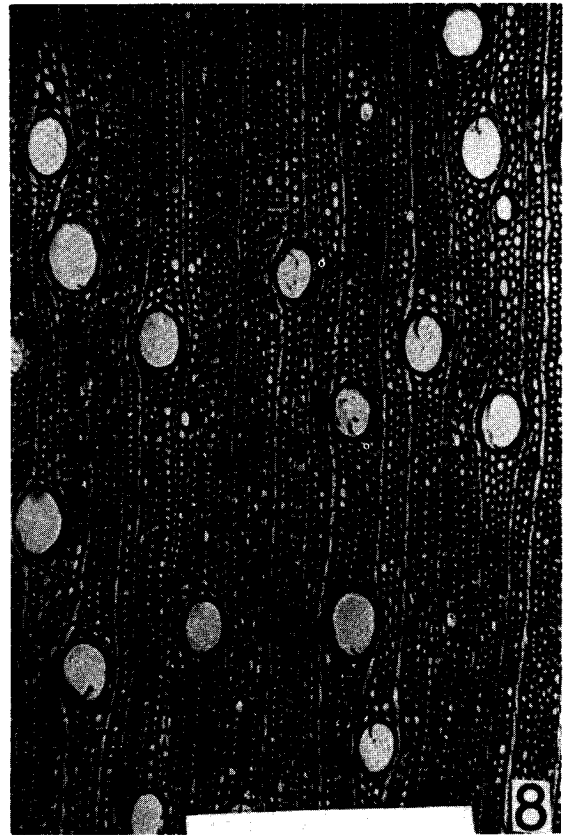


*Eucalyptus grandis* com 24 anos de idade

**FIG. 7.** *Eucalyptus grandis* - desenho esquemático da madeira, indicando as áreas estudadas.

micrômetros e a soma do diâmetro dos cinco vasos da área 4 correspondeu a 505 micrômetros (Tabelas 1 e 2). Os resultados anatômicos das quatro áreas analisadas indicaram que a madeira jovem não apresentou sua estrutura anatômica definida, o que só ocorrerá com o avançar da idade.

Reduzindo o número de vasos e de raios, bem como a altura e a largura dos raios à medida que a árvore se torna mais velha, as iniciais fusiformes passam a formar mais fibras, ocupando assim os espaços que deveriam ser preenchidos pelos vasos, se for o caso. Em *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, a literatura registra aumento do comprimento das fibras e da densidade no sentido "medula"-casca; os elementos de vasos diminuem o diâmetro, bem como diminui o número de vasos por mm<sup>2</sup>, igualmente no sentido "medula"-casca (Tomazello, 1985). Essa mesma referência diz ainda que madeira de melhor qualidade deverá ser obtida a partir de



**FIG. 8.** Corte transversal da área 1 (escala de 200 micrômetros).

árvores em idade mais avançada. Os resultados indicam claramente o mecanismo que culmina com a elevação de biomassa em virtude do aumento da idade da árvore.

A madeira de *Mimosa artemisiana* com 13 anos de idade apresentou peso específico de 0,828 g/cm<sup>3</sup>, 2,4 vasos por mm<sup>2</sup>, diâmetro de 116 micrômetros, 11 raios por mm linear e fibras com 930 micrômetros de comprimento (resultados de estudo realizado em amostra de madeira da parte mais externa do tronco) (Heringer & Paula, 1979). Já o alburno de uma árvore de *Eucalyptus grandis* com 13 anos de idade do povoamento estudado apresentou peso específico da ordem de 0,61 g/cm<sup>3</sup>, 6 vasos por mm<sup>2</sup> (média), 14 raios por mm linear (Paula, 1983). A referida árvore permaneceu viva e, aos 24 anos de idade,

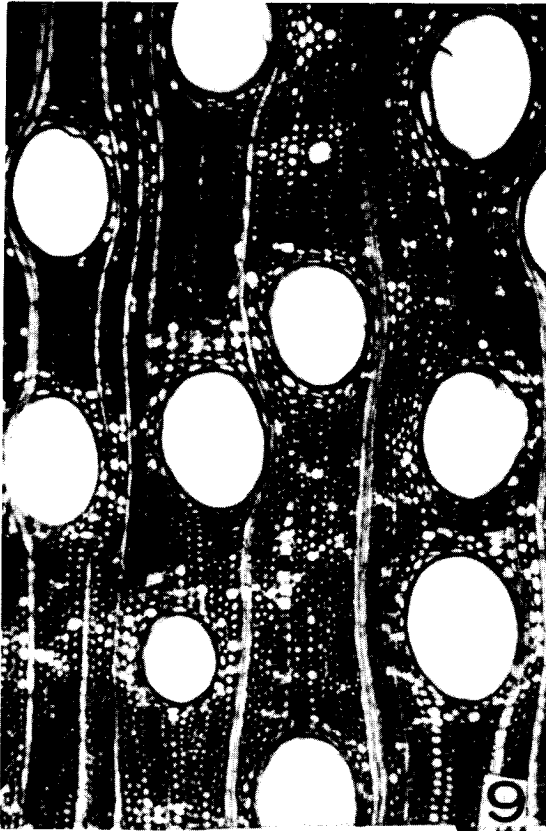


FIG 9. *Eucalyptus grandis* - corte transversal da área 4, com menor densidade de vasos, quando comparado com a densidade da área 1; largura dos raios e diâmetro dos vasos maiores, quando comparados com os da estrutura da área 1 (escala de 200 micrômetros).

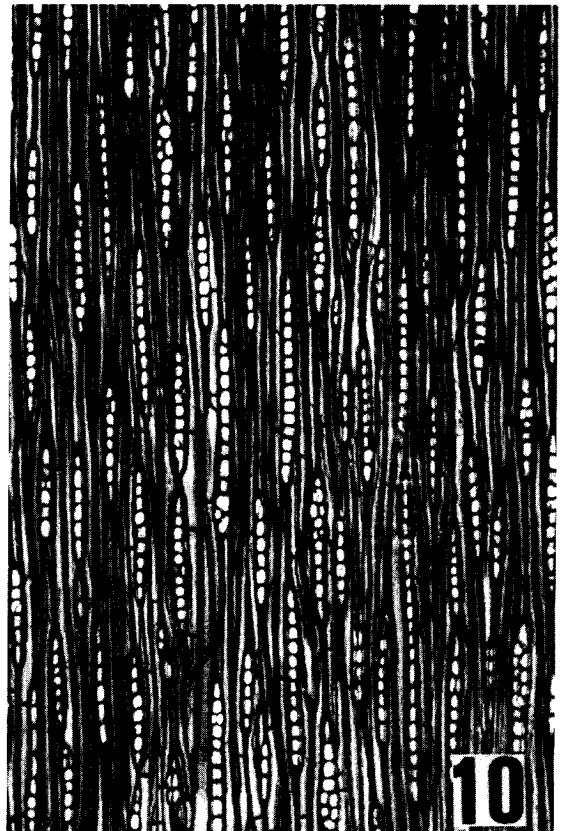


FIG. 10. *Eucalyptus grandis* - corte tangencial da área 1, mostrando dominância de raios I-seriados (partes claras); as fibras são partes negras estriadas (escala de 200 micrômetros).

a densidade do alburno foi de  $0,86/\text{cm}^3$ . Todos os valores citados neste parágrafo correspondem a valores médios. Do trabalho citado constam duas fotomicrografias de cortes histológicos da madeira de *Eucalyptus grandis*, obtidas com igual aumento, uma da madeira com 26 meses de idade, com alta densidade de vasos, e a outra da madeira dessa espécie com 13 anos de idade, com densidade de vasos muito baixa, quando comparada com a madeira da árvore com 26 meses de idade.

*Eucalyptus* spp., com sete anos de idade, produziu 109,13 ton/ha (Ferreira & Timoni, 1978), en-

quanto *E. grandis*, com 24 anos, produziu 836,741 ton/ha. Com base no exposto, depreende-se que não é tão vantajoso, do ponto de vista econômico e ecológico, explorar madeira com pouca idade (6 ou 7 anos, por exemplo), notadamente quando se trata de madeira de baixa densidade (até  $0,60 \text{ g}/\text{cm}^3$ ). Com essa idade, as células do centro até ao alburno ainda não estão plenamente diferenciadas; portanto a madeira apresenta baixo rendimento energético, especialmente na produção de álcool, carvão, lenha e coque metalúrgico. A meta seria produzir mais por hectare, explorando árvores

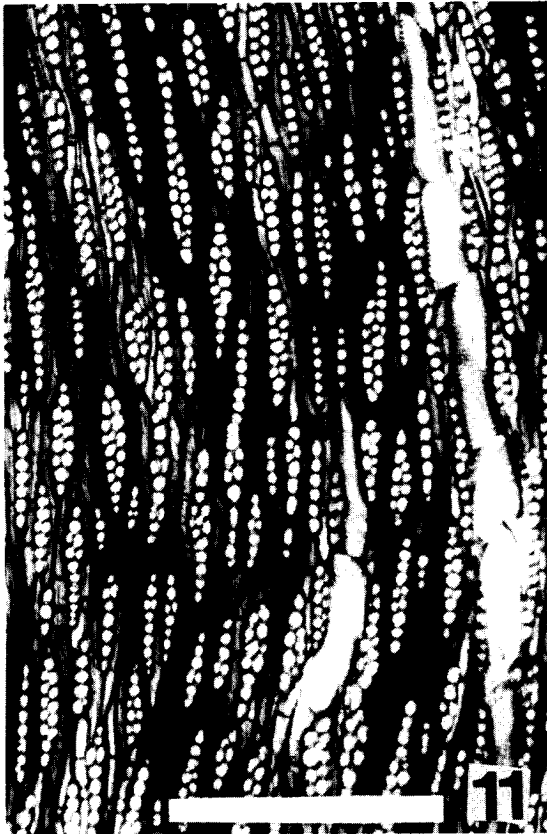


FIG. 11. *Eucalyptus grandis* - corte tangencial da área 4, mostrando dominância de raios 2-seriados (escala de 200 micrômetros).

com mais idade, pois, com isso, poupar-se-iam ecossistemas e biodiversidade como um todo, bem como conserva-se-iam espécies utilizadas em manejo, notadamente quando se trata de espécies nativas. No processo de produção de álcool a partir de celulose e hemiceluloses da madeira, a lignina é separada e transformada em coque metalúrgico (carvão) pela técnica de carbonização. Esse carvão é usado em fornos siderúrgicos (Brasil, 1983). Portanto, é melhor utilizar madeiras com alto teor de celulose, de hemiceluloses e de lignina, ou seja, madeiras com idade mais avançada, para fins energéticos.

Os empresários do ramo madeireiro alegam que a opção por *Pinus* e *Eucalyptus* é decorrente do seu crescimento rápido. O que ignoram é que o crescimento rápido das espécies desses dois grupos ad-

ventícios de plantas se verifica até aproximadamente os sete anos de idade, tornando-se lento a partir dessa idade. A densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* com idade entre cinco e seis anos varia entre  $0,407 \text{ g/cm}^3$  e  $0,574$  (Barrichelo & Brito, 1976). Além disso, uma das características biológicas das madeiras de crescimento rápido, pelo menos até os sete anos de idade, é apresentarem mais volume e menos peso, ou seja, menos biomassa, enquanto as madeiras ditas de crescimento lento apresentam menos volume e mais peso, sendo assim, madeiras duras e pesadas, com maior rendimento por hectare. Com idade entre 8 a 10 anos a densidade ainda é baixa. Citam-se, como exemplos de madeira pesada: *Caesalpinia leiostachya* Ducke (pau-ferro, densidade  $1,15 \text{ g/cm}^3$ ), *C. echinata* Lam. (pau-brasil, densidade  $1,20 \text{ g/cm}^3$ ), *Dinizia excelsa* Ducke (angelim-pedra, densidade  $0,992 \text{ g/cm}^3$ ), *Apuleia molaris* (Spreng.) Koeppen (grapia, densidade  $0,85 \text{ g/cm}^3$ ) e *Hymenaea courbaril* L. (jatobá, densidade  $0,80 \text{ g/cm}^3$ ). *Caesalpinia leiostachya*, com nove anos de idade, produziu 432 toneladas de madeira seca por hectare, 48,2 toneladas por ha/ano; *Anadenanthera macrocarpa* (angico-vermelho, densidade  $0,86 \text{ g/cm}^3$ ), com sete anos de idade, produziu 105 toneladas de madeira seca por hectare e 15 toneladas por ha/ano (estimativas baseadas em 625 árvores por hectare, nos dois casos (Paula et al., 1990). Essas espécies de madeira dura são consideradas de crescimento lento, porém altamente promissoras em termos de produção de madeira.

A título de comparação, determinou-se a densidade da madeira de *Anacardium microcarpum* Ducke e de *Peltophorum dubium* Taub., sendo uma jovem e a outra plenamente adulta, em cada espécie. A madeira jovem de *A. microcarpum* apresentou densidade básica da ordem de  $0,48 \text{ g/cm}^3$  e a adulta,  $0,68 \text{ g/cm}^3$ , enquanto a madeira jovem e adulta de *P. dubium* apresentou, respectivamente,  $0,58 \text{ g/cm}^3$  e  $0,75 \text{ g/cm}^3$ . Se o ritmo do processo de formação de biomassa permanecesse inalterado durante o período de crescimento da árvore, a densidade da madeira não aumentaria com o avançar da idade. O estudo revelou claramente que a densidade da madeira aumentou à medida que a árvore se tornava mais velha, por causa da aceleração do ritmo de formação de biomassa no decorrer da idade.

Uma alternativa alvissareira para atenuar as dificuldades no atendimento da demanda de energia, preservando a biodiversidade, é utilizar o maior número possível de espécies na formação de grandes maciços florestais heterogêneos, em planos de manejo ecológico de rendimento sustentado, e explorá-las com idade mais avançada, respeitando e preservando, assim, todas as formas de vida existentes nas áreas de produção, bem como conservando as espécies utilizadas para produção de biomassa. O *Eucalyptus* com sete anos de idade produz, em média, 109,13 toneladas de madeira seca por hectare: 15,5 ton/ha/ano (Ferreira & Timoni, 1978). Esses dados indicam rendimento por árvore da ordem de 65,42 kg.

Se 67 árvores de *Mimosa artemisiana* plantadas numa área de aproximadamente 402 m<sup>2</sup> produziram, aos 24 anos de idade, 37.961 toneladas de madeira seca, 566 kg por árvore, portanto, por estimativa, em um hectare, 1.666 árvores produziriam 944,492 toneladas (39,354 ton/ha/ano). Do mesmo modo, árvores de *Eucalyptus grandis*, nas mesmas condições, produziram 836.741 toneladas de madeira seca por hectare (1.666 árvores) em 24 anos, tendo em vista que o rendimento das 67 árvores foi da ordem de 33.331 toneladas (497 kg) por árvore. Isso evidencia que o *Eucalyptus* não deveria ser a única opção, por não ser tão vantajoso como se pensa, em termos de rendimento na produção de madeira, em comparação com espécies nativas.

*Mimosa artemisiana* é uma boa essência produtora de madeira, tendo em vista que o rendimento da madeira do tronco e da copa foi auspicioso. O rendimento da copa foi de 43% em relação à madeira do fuste. Não obstante ser proveniente da mata mesofítica do município de Coronel Pacheco (Minas Gerais) ao ser cultivada experimentalmente em solo de cerrado, apresentou desenvolvimento satisfatório. Da mesma forma, *Eucalyptus grandis* apresentou desenvolvimento satisfatório nesse mesmo solo de cerrado; contudo o rendimento de madeira da copa foi insignificante. Sendo muito baixo o grau de conicidade dos troncos dessa espécie (Tabela 3), não se desenvolveram galhos grossos, já que o diâmetro superior dos troncos apresentou-se muito reduzido (8,30 cm em média). Em *Mimosa artemisiana*, ao contrário, o índice de conicidade dos

troncos foi bem mais alto, indicado pelo fator de forma (Tabela 3), com média de diâmetro superior, da ordem de 19,55 cm, o que favoreceu a formação de galhos grossos.

Se a área basal dos 67 troncos de *Mimosa artemisiana* alcançou o total de 5.4761 m<sup>2</sup>, cuja média foi de 0,0818, em um hectare, por estimativa, a área basal seria de 136.167 m<sup>2</sup>, considerando 1.666 árvores por hectare, com 24 anos de idade. Por outro lado, a área basal dos 67 troncos de *Eucalyptus grandis* foi de 4,6861 m<sup>2</sup>, sendo a média de 0,0653 m<sup>2</sup>; portanto, 1.666 árvores por hectare ocupariam uma área basal de 116,523 m<sup>2</sup>, com 24 anos de idade. Pela mesma linha de análise, conclui-se que *M. artemisiana* produziu 566.582 kg/0,0817 m<sup>2</sup> de área basal ocupada e *E. grandis*, 497,478 kg/0,0653 m<sup>2</sup>. Isso respalda os resultados registrados na Tabela 3, segundo os quais *E. grandis* produziu mais madeira através dos troncos do que produziu *M. artemisiana*. Porém o rendimento de madeira proveniente da copa de *M. artemisiana* foi muito superior à madeira da copa de *E. grandis*. A altura dos troncos de *E. grandis*, cuja altura média foi de 9,59 m, foi a variável que contribuiu para maior rendimento de madeira em comparação com a dos troncos de *M. artemisiana*, cuja altura média foi de 6,12 m.

## CONCLUSÕES

1. A árvore aumenta o ritmo de produção de matéria orgânica, especialmente celulose, lignina e hemiceluloses, à medida que se torna mais velha, refletindo-se na elevação da densidade da madeira.

2. Nas duas espécies, a densidade das partes mais internas do tronco, formadas quando a árvore tem pouca idade, é bem mais baixa quando comparada com a densidade das partes mais externas, formadas quando a árvore tem mais idade.

3. A madeira de *Eucalyptus grandis*, mesmo com 24 anos de idade, apresentou característica de boa qualidade para a produção de papel e também para a geração de energia.

4. A madeira do tronco e dos galhos de *Mimosa artemisiana* é de excelente qualidade para a produção de energia.

5. Quanto mais nova for a árvore, menor será o rendimento da madeira.

## REFERÊNCIAS

- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira de *Eucalyptus* como matéria prima para a indústria de celulose e papel. **PRODEPEF**, Brasília, v.13, p.9-45, 1976.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Produção de etanol da madeira**. Brasília, 1983 (Cadernos Coalbra, v. 1).
- ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. 2nd. ed. California: John Wiley & Sons, 1977. 779 p.
- FERREIRA, C. A; TIMONI, J. L. Contribuição ao estudo de delimitação da época de corte em povoamento de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v. 14, p. 85-68, 1978.
- HERINGER, E. P.; PAULA, J.E. de. Um novo par vicariante: *Mimosa Artemisiana* Heringer & Paula (floresta atlântica) e *Mimosa schomburgkii* Benth. (floresta amazônica). **Anais da Sociedade Botânica do Brasil**, Rio de Janeiro, v. 30, p. 75-82, 1979.
- IAWA Bulletin. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Utrecht, v.10, n.3, p.221-359, 1989.
- PÁDUA, M. E. Maior atenção ao meio ambiente. **Energia**, São Paulo, v. 6, p. 19-21, 1981.
- PAULA, J. E. de Estudo da estrutura anatômica de madeiras de espécies nativas, visando seu aproveitamento na produção de energia e papel. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.41, n.4, p.344-353, 1989.
- PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. H. Estudo Anatômico de madeiras indígenas para produção de energia e papel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.12, p.1461-1471, 1989.
- PAULA, J. E. de; ENCIMAS, J. I.; MENDONÇA, R. C.; LEÃO, D. T. Estudo dendrométrico e ecológico da madeira riparia da região Centro-Oeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.1, p. 43-55, 1990.
- PAULA, J. E. de. A produção e exploração de fitomassa no contexto da atual conjuntura energética e ecológica. In: **SEMANA UNIVERSITÁRIA**. Brasília: UnB, 1992, v.1, p. 30-54.
- PAULA, J. E. de. Exploração de recursos naturais renovável, conservação e preservação dos respectivos ecossistemas. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 56, p. 5-29, 1983.
- PAULA, J. E. de. Madeira da caatinga úteis para produção de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.2, p.153-165, 1993.
- RUNKEL O. Pulp from tropical wood. **TAPPI**, Hamburg, v. 35, n.4, p.174-178, 1952.
- SILVA, J.A. **Biometria e estatística florestal**. Santa Maria: Universidade de Santa Maria, RS, 1975.
- TOMAZELLO, M. F. Variação radial da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, São Paulo, v. 29, p. 37-45, 1985.