

Variações na estrutura da anatomia do lenho de árvores de *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae) de clima tropical seco e úmido na Costa RicaWood anatomical variation of *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae) trees from dry and wet tropical climatic in Costa RicaRóger Moya Roque¹, Mario Tomazello Filho² e Carlos Tadeu dos Santos Dias³**Resumo**

A madeira de árvores de *Gmelina arborea* é utilizada para serraria na Costa Rica e em países tropicais da África, Ásia e Oceania, como matéria prima para papel, compósitos madeira-cimento ou painéis. Nestes países, as condições ecológicas das regiões dos programas de reflorestamento com gmelina caracterizam-se por apresentar diferenças em relação ao habitat natural da espécie. No entanto, os estudos sobre as alterações induzidas na estrutura anatômica do lenho das árvores em resposta às novas condições ecológicas são escassos na literatura especializada. No presente trabalho foram analisadas as alterações da anatomia do lenho de árvores de gmelina procedentes de duas condições de clima na Costa Rica: clima tropical seco e clima tropical úmido. Pela análise multivariada, as alterações na anatomia do lenho das árvores de gmelina podem estar relacionadas com o tipo de porosidade, agrupamento de vasos, comprimento dos vasos, disposição do parênquima longitudinal, largura e frequência dos raios. Os registros derivados dos componentes principais mostraram que a precipitação média anual dos sítios amostrados são, além da densidade da plantação, as fontes de variação do lenho das árvores de gmelina na Costa Rica.

Palavras-chave: Anatomia da madeira, *Gmelina arborea*, Anatomia ecológica, Verbenaceae

Abstract

In Costa Rica and tropical countries of Africa, Asia and Oceania the wood of *Gmelina arborea* trees is used for sawmill, as raw material for paper, wood-cement composites or panels. In these countries, the ecological climatic conditions of the areas of the gmelina reforestation programs are characterized by presenting differences in relation to the species natural habitat. However, the studies about the alterations induced in the wood anatomical structure of the trees in response to the new ecological conditions are scarce in the specialized literature. In this paper the wood anatomy of gmelina trees alterations from two climate conditions of Costa Rica were analyzed: dry tropical climate and wet tropical climate. For the multivariate analysis, the alterations can be related to the porosity type, vessels length and grouping, axial parenchyma disposition, rays width and frequency. The principal components results showed that the annual medium precipitation of the sampled sites is the source of variation of wood of gmelina trees in Costa Rica, besides the density of the plantation.

Keywords: Wood anatomy, *Gmelina arborea*, Ecological wood anatomy, Verbenaceae

INTRODUÇÃO

Gmelina arborea Roxb tem sido intensivamente plantada em muitas áreas da Costa Rica visando a produção de madeira para serraria. No período de 2005 a 2010 estima-se que a produção de madeira das plantações alcance um milhão de m³, suficiente para abastecer o mercado interno e destinar parte para a exportação (MOYA, 2004). Atualmente, a área reflorestada é de 65.000 ha concentrada, principalmente,

nas regiões denominadas de Zona Norte e Pacífico Norte da Costa Rica com 22,2% e 7,4% das plantações, respectivamente.

As variações nas características anatômicas da madeira em resposta às condições de clima foram relatadas, no início do século passado, principalmente na classificação taxonômica de várias espécies (CARLQUIST, 1989), como *Meterosideros polymorpha*, *Cornus contraversa*, *C. kousa* e *C. macrophylla* (NOSHIRO e BAAS, 2000), *Acacia melanoxydon* (WILKINS e PAPASSOTI-

¹Professor da Escuela de Ingeniería Forestal do Instituto Tecnológico de Costa Rica - Apartado 159 -7050 Cartago - Costa Rica - E-mail: rmoya@itcr.ac.cr

²Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: mtomazel@esalq.usp.br

³Professor Associado do Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: ctsdias@esalq.usp.br

RIOU, 1989), *Alnus nepalensis* (NOSHIRO *et al.*, 1994) e *Dodonea viscosa* (LIU e NOSHIRO, 2003). Em regiões tropicais, a variação da anatomia do lenho de árvores de inúmeras espécies e sua relação com as condições ecológicas tem sido avaliada no Brasil (ALVES e ANGYALOS-SY-ALFONSO, 2002), na Venezuela (LINDORF, 1994) e no México (BARAJAS, 1985).

As plantações de gmelina na Costa Rica ou em outros países tropicais da América, África, Ásia e Oceania caracterizam-se pelas diferenças em relação às condições ecológicas do seu habitat natural induzindo, provavelmente, alterações adaptativas na anatomia do lenho das árvores (BAAS, 1982). Na América e na Costa Rica, apesar da gmelina se constituir em uma das mais importantes espécies florestais introduzidas, as alterações na anatomia do seu lenho induzidas pelas variações das condições de crescimento não têm sido pesquisadas. Em outros países, como na Índia têm sido relatadas alterações na estrutura do lenho de árvores de gmelina (CHOWDHURY, 1947; CHOWDHURY, 1953; AKACHUKU e BURLEY, 1979; AKACHUKU, 1985 e OHTANI *et al.*, 1989) embora restritas a poucas características anatômicas.

O presente trabalho teve como objetivo descrever as alterações na estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* Roxb., procedentes de plantações caracterizadas por duas diferentes condições ecológicas e representativas das regiões de maior desenvolvimento florestal da Costa Rica.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedência da madeira

Na caracterização anatômica do lenho foram avaliadas 6 árvores de *Gmelina arborea*, de 8-12 anos (Tabela 1) procedentes de 2 regiões da Costa Rica, caracterizadas pelos climas tropical seco e úmido, selecionadas pela extensão das plantações e importância social e comercial da espécie.

Amostragem

Um disco de lenho, com 4 cm de espessura, foi cortado na altura do peito (AP) do tronco de 6 árvores de gmelina. Em laboratório, foram seccionados corpos de prova (6x4x4 cm), orientados nos 3 planos de estudo, no limite do cerne/alburno, de acordo com as normas e procedimentos de estudos da madeira (IBAMA, 1992). Estes corpos de prova foram utilizados

para a descrição das propriedades organolépticas e caracterização da estrutura anatômica macro e microscópica do lenho.

Propriedades organolépticas do lenho

Foram analisadas as características gerais da madeira (Tabela 2), utilizando os critérios da Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas (COPANT, 1974), da List of Microscopic Features for Hardwood Identification (IAWA, 1989) e as Normas e Procedimentos em Estudos da Anatomia da Madeira (IBAMA, 1992). Na determinação da cor da madeira, além dos critérios estabelecidos nas normas, utilizaram-se as tabelas de determinação de cores de solos de Munsell (Mac Corporation, 1994).

Descrição microscópica do lenho

A estrutura anatômica microscópica do lenho de gmelina foi descrita de acordo com as normas: List of Microscopic Features for Hardwood Identification (IAWA, 1989) e Normas e Procedimentos em Estudos da Anatomia da Madeira (IBAMA, 1992).

Para o preparo das lâminas histológicas permanentes foram cortadas seções finas de 12-17 mm de espessura dos planos transversal, longitudinal tangencial e radial dos corpos de prova reduzidos ao tamanho de 3x2x2 cm, comprimento, largura, altura, respectivamente. Os cortes foram montados em lâminas de vidro, com bálsamo do Canadá (JOHANSEN, 1940).

Nas lâminas histológicas permanentes foram caracterizados e avaliados os vasos, fibras, parênquima radial e longitudinal. O lenho foi dissociado para a mensuração das dimensões das fibras (comprimento, largura, diâmetro e espessura de parede) e dos elementos de vaso (comprimento) pelo método de Franklin descrito por Johansen (1940) e Sass (1951), sendo mensuradas 25 células/3 lâminas. Os elementos anatômicos do lenho foram mensurados em imagens digitais, coletadas através de câmera digital acoplada a um microscópio. As imagens digitais do lenho de gmelina foram analisadas, aplicando-se os softwares SAIM desenvolvido no Laboratório de Anatomia e Identificação da ESALQ / USP (RIBEIRO, 2002) e Image Tool® obtido através do Health Science Center / Texas University. O parênquima longitudinal foi caracterizado nas seções do lenho de gmelina, sob exame microscópico, de acordo com as normas da IAWA (IAWA, 1989).

Tabela 1. Localização e caracterização das plantações e das árvores de *Gmelina arborea* amostradas.
Table 1. Geographical position and characterization of *Gmelina arborea* plantation and sampled trees.

Condição	Parâmetro	Clima tropical úmido			Clima tropical seco		
		árvore 1	árvore 2	árvore 3	árvore 1	árvore 2	árvore 3
Da plantação	Latitude (°N)	10° 46' 44"	10° 29' 35"	10° 37' 00"	10° 11' 24"	09° 52' 02"	10° 03' 28"
	Longitude (°O)	84° 41' 24"	84° 07' 28"	84° 17' 47"	85° 05' 45"	85° 25' 45"	85° 28' 34"
	Altitude sobre o nível do mar (m)	100	113	-	-	74	-
	Idade (anos)	8	9	10	10	12	12
	Precipitação média anual (mm)*	3089	2882	3089	2407	1737	2089
	Densidade de plantação (n ha ⁻¹)	223	382	923	318	573	764
	Diâmetro à altura do peito (cm)	32,0	27,00	23,10	29,90	24,00	20,10
	Taxa de crescimento médio (cm ano ⁻¹)	4,00	2,70	2,31	2,99	2,40	2,00
	Altura total média (m)	23,5	14,40	18,58	20,80	24,70	20,30
Da árvore amostrada	Altura total da copa (m)	14,5	6,60	12,80	11,00	14,60	13,20
	Código da árvore	3-I	1-M	2-S	6-I	4-M	5-S
	Diâmetro à altura do peito (cm)	32,50	27,00	22,1	31,90	24,00	20,10
	Taxa de crescimento médio (cm ano ⁻¹)	4,06	2,70	2,21	3,19	2,00	1,67
	Altura total (m)	23,70	21,00	17,70	16,50	24,70	20,3
	Altura da copa (m)	17,00	14,40	10,00	10,00	14,60	13,20

*Precipitação média corresponde à estação meteorológica próxima da plantação amostrada. Informação fornecida pelo Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

Tabela 2. Descrição da anatomia do lenho das árvores de *Gmelina arborea* em duas condições climáticas na Costa Rica.
Table 2. Wood anatomical description of *Gmelina arborea* trees on 2 climatic conditions of Costa Rica.

Elemento do lenho	Descrição
Cerne/alburno	Pouco distinto na condição seca
Cor do cerne	Branco, amarelo pálido ou café
	Notação de Munsell 2,5Y p/cor, 7,5-8,0 p/ Valor e 1,5-4,0 p/ Cromo.
Cor do alburno	Cinza, cinza pálido ou cinza claro
	Notação de Munsell de 10YR p/ cor, 7,0-8,5 p/ Valor e 2,0 p/ Cromo.
Camadas de crescimento	Distintas em árvores crescendo em sítios secos e indistintas em árvores de sítios úmidos.
Brilho	Moderado ou escassamente sem brilho.
Odor/cheiro/sabor	Imperceptíveis.
Resistência ao corte	Macia.
Textura	Muito fina
Direção da grã	Direita e freqüente presença de grã entrecruzada ou no sentido direito.
Vasos	Visíveis sob lente (10x); porosidade difusa, anel semi-poroso ou anel poroso, com tendência em linhas diagonais, radiais ou tangenciais; na maioria solitários (72-93%) e escassos, múltiplos de 2-3; freqüência 3-6/mm ² ; diâmetro do lume 85-244 µm; comprimento 94-342; apêndices curtos, menores que 1/3 do comprimento do vaso e na maioria em uma só extremidade; placas de perfuração simples; tilos abundantes; pontoações intervasculares poligonais, alternas, arredondadas, abundantes, de diâmetro tangencial 5,8-12,0 µm; pontoações não guarnecidas, abertura com diâmetro 2,2-7,2 µm; pontoações raio-vasculares areoladas, opostas, arredondadas, em média abundância, diâmetro tangencial 3,9-9,1 µm; pontoações não guarnecidas, abertura com diâmetro de 1,9-5,1 µm, pontoações parênquimo-vascular alternas de forma arredondada, de menor abundância que as intervasculares, diâmetro tangencial 4,6-8,3 µm; pontoações não guarnecidas, abertura com diâmetro de 4,5-5,7 µm.
Fibras	Com pontoações distintas, menores de 3 µm; alta porcentagem de fibras com 1-3 septos, e algumas com cristais prismáticos; fibras curtas, 0,9-1,6 mm; largura, 23-47 µm; parede delgada, 2,4-6,0 µm.
Parênquima longitudinal	Indistinto a olho nu e distinto sob lente (10x); paratraqueal escasso a vasicêntrico abundante; células de tipo seriado, não estratificado, de 1-5 células.
Parênquima radial	Visível sob lente (10x), não estratificado; predominam raios multiseriados, 3-5 células de largura; 7-27 células de altura, 100-498 µm, de comprimento; 4-7/mm, heterocelulares, com fileira de células quadradas nos extremos, sem células procumbentes; 26-86 µm largura; presença de cristais, escassos.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise multivariada de componentes principais, aplicada nas pesquisas ecológicas (JEFFERS, 1967), permitindo agrupar uma grande quantidade de pa-

râmetros a alguns componentes, facilitando a interpretação da informação e indicando possíveis relações entre as características anatômicas da madeira de *gmelina* e as variáveis ambientais nos locais de estudo.

As características anatômicas do lenho, tipo de porosidade e grã, foram avaliadas por um padrão definido e convertidas a variáveis numéricas, com valores de 1, 2, 3. Para os diferentes padrões, como exemplo, para a porosidade da madeira, estabeleceu-se: 1 para porosidade difusa; 2 para anel semi-poroso e 3 para anel poroso; para as camadas de crescimento, 1 distinta e 2 indistinta.

Após a padronização numérica os dados foram analisados no software SAS (SAS, 1997).

As características anatômicas e gerais do lenho utilizadas na análise multivariada foram: cores, grã, camadas de crescimento, vasos (tipo de porosidade, porcentagem de solitários e múltiplos, frequência, diâmetro, comprimento, apêndices, diâmetro externo e interno das pontoações intervasculares), fibras (comprimento, largura, espessura da parede e abundância de septos e cristais), parênquima longitudinal (disposição, diâmetro e abertura das pontoações parênquimo-vasculares), raios (altura e largura em número de células e em micrômetros; frequência, diâmetro e abertura das pontoações raio-vasculares).

RESULTADOS

As características anatômicas do lenho das árvores de gmelina, procedentes das duas condições climáticas da Costa Rica e as suas diferenças mais marcantes, são apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

A variação da estrutura anatômica do lenho das árvores de gmelina é apresentada nas Figuras 1 a 4. Para os vasos observa-se a formação de anel quase semi-poroso nas árvores de clima tropical seco e de porosidade difusa nas de clima tropical úmido; maior frequência de vasos múltiplos nas árvores de clima tropical seco, especialmente nas árvores 1 e 2 (Figura 1 a-b), em relação ao maior número de vasos solitários nas de clima tropical úmido (Figura 1 c-d). Observou-se, também, que as árvores de clima tropical seco apresentam leve tendência de formação de vasos em alinhamento tangencial associados ao parênquima longitudinal vasicêntrico confluyente, característica não observada no lenho das árvores do clima tropical úmido (Figura 1 d-f).

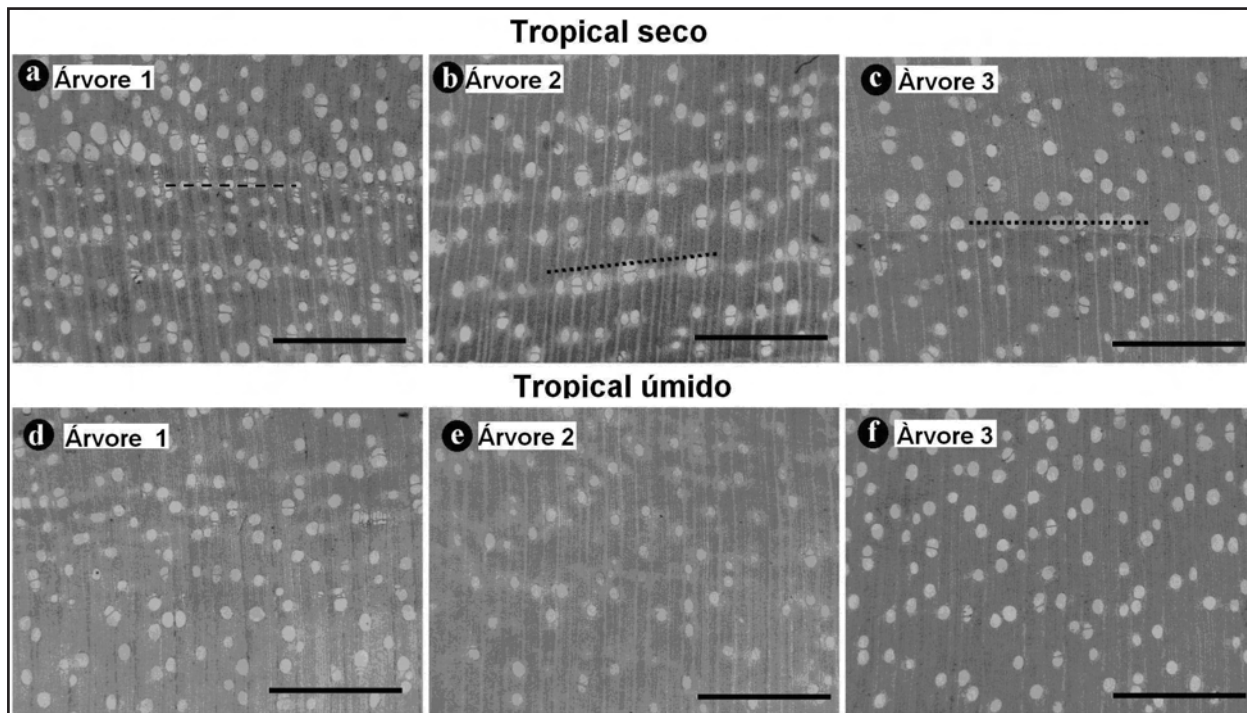
Tabela 3. Características anatômicas do lenho de árvores de *Gmelina arborea* nos 2 tipos de clima na Costa Rica.
Table 3. Wood anatomical features of *Gmelina arborea* trees on 2 climatic conditions of Costa Rica.

Características	Tropical úmido			Tropical seco		
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3
Características organolépticas						
Cor do cerne	2,5Y 7,5/4	2,5Y 8/3	2,5Y 8/3,5	10YR 8/2	10YR 8/2	2,5Y 8/1,5
Cor do alburno	10YR 8,5/2,0	10YR 8,5/2	10YR 8,5/2	10YR 7/2	10YR 7/2	10YR 8,5/2
Vasos						
Agrupamento de vasos (%)						
Solitários	81,28	93,57	85,54	74,78	72,54	86,27
Múltiplos de 2 a 3	18,72	6,43	14,46	25,22	27,46	13,73
Frequência (nº/mm²)	4,85	3,69	4,62	6,58	4,35	4,19
Ø do lume (µm)	148,89 (40,25)	144,86 (31,64)	140,65 (32,21)	166,36 (26,74)	121,05 (23,32)	143,75 (24,35)
Comprimento do elemento (µm)	238,43 (54,87)	213,32 (66,29)	244,00 (64,66)	220,12 (44,58)	228,17 (39,79)	218,69 (74,62)
Ø pontoações intervasculares (µm)	9,36 (1,19)	8,35 (0,80)	8,35 (1,04)	7,96 (0,95)	8,63 (0,97)	9,14 (0,78)
Ø abertura das pontoações (µm)	5,69 (1,12)	3,22 (0,74)	5,00 (0,78)	3,85 (0,63)	5,28 (0,96)	4,90 (0,80)
Fibras						
Comprimento (mm)	1,33 (0,15)	1,18 (0,12)	1,15 (0,14)	1,24 (0,12)	1,20 (0,12)	1,16 (0,16)
Largura (µm)	31,09 (5,32)	34,37 (4,85)	29,92 (3,72)	31,15 (4,88)	29,91 (3,86)	30,10 (4,20)
Espessura da parede (µm)	3,63 (0,29)	3,66 (0,64)	4,42 (0,70)	4,17 (0,48)	4,03 (0,73)	3,80 (0,65)
Quantidade de septos	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
Parênquima longitudinal						
Ø pontoações (µm)	6,27 (0,97)	5,54 (0,78)	5,98 (1,01)	5,73 (0,50)	6,80 (0,55)	5,98 (1,01)
Ø abertura das pontoações (µm)	2,98 (0,54)	2,59 (0,55)	4,02 (0,91)	3,46 (0,52)	3,39 (0,43)	3,77 (0,76)
Parênquima radial (raios)						
Quantidade de células em largura	3-4 (raro 2 e 5)	3-4	3-4 (raro 5)	4-5 (raro 3)	4-5 (raro 3)	3-4 (raro 2 e 5)
Quantidade de células em altura	6-15	6-25	8-27	5-15	5-15	7-19
Largura (µm)	38,19 (7,75)	45,80 (10,67)	41,68 (7,75)	59,51 (12,56)	52,41 (8,05)	37,61 (7,33)
Altura (µm)	215,14 (48,93)	230,94 (89,71)	296,04 (82,67)	239,97 (67,73)	204,79 (41,69)	228,98 (59,13)
Frequência (nº./mm)	4 (1,2)	4 (1,45)	5 (0,87)	6 (1,86)	6 (1,00)	5 (0,87)
Ø pont. parênq-vascular (µm)	7,24 (0,67)	6,47 (0,92)	6,36 (0,66)	6,65 (1,00)	6,96 (0,88)	6,12 (1,02)
Ø abertura das pontoações (µm)	3,96 (0,54)	2,99 (0,57)	3,38 (1,08)	3,03 (0,53)	3,25 (0,58)	2,84 (0,57)

Os números entre parênteses indicam o valor do desvio padrão.

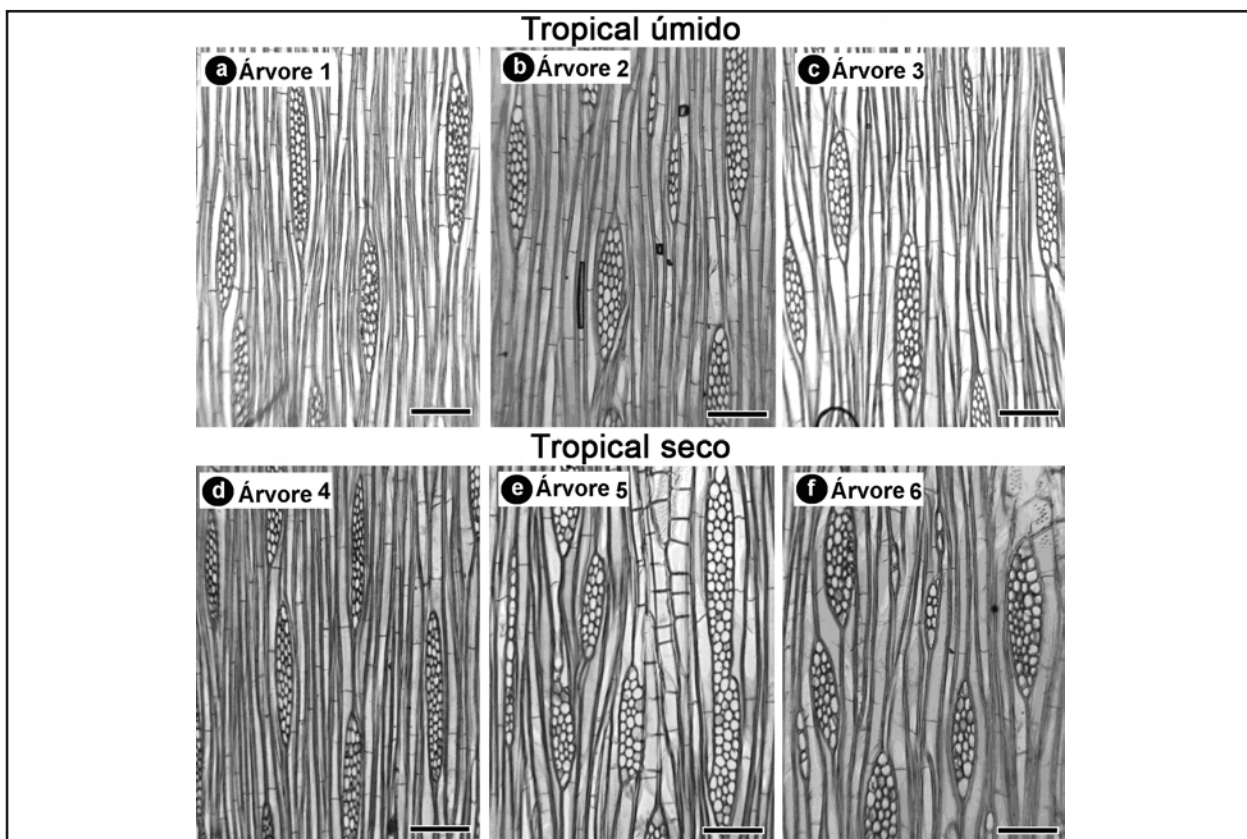
A Figura 2 apresenta o plano longitudinal tangencial do lenho das árvores de gmelina de clima tropical seco e úmido. Para o parênquima radial observa-se maior frequência, maior largura em número de células do raio no lenho das

árvores de gmelina de clima tropical seco em relação às de clima tropical úmido. Os raios mostraram tendência a apresentar maior altura no lenho das árvores de gmelina de clima tropical úmido (Tabela 3).



Escala de barra = 2 mm (Scale bar = 200 μ m)

Figura 1. Arranjo dos vasos no lenho de *Gmelina arborea* para as duas condições de clima na Costa Rica.
Figure 1. Vessels arrangement in *Gmelina arborea* wood for the two climatic conditions in Costa Rica.



Escala de barra = 150 μ m (Scale bar = 500 μ m)

Figura 2. Frequência e quantidade de células nos raios no lenho de *Gmelina arborea* para as duas condições de clima na Costa Rica.

Figure 2. Ray frequency and cell quantity in *Gmelina arborea* wood for the two climatic conditions in Costa Rica.

Para o parênquima longitudinal verifica-se, na seção transversal, uma maior quantidade de células de parênquima paratraqueal no lenho das árvores de clima tropical seco (Figura 1 a-c) em relação às de tropical úmido (Figura 1 d-f).

A análise multivariada por componentes principais aplicada para as árvores de gmelina mostrou que a informação anatômica resume-se a 4 componentes, os quais explicam 91,4% da variabilidade encontrada na anatomia do seu lenho (Tabela 4).

Na determinação da importância das características anatômicas do lenho nos componentes principais utilizou-se no contraste um valor maior a 0,70 (JEFFERS, 1967) nos autovetores.

No componente principal 1, as características anatômicas do lenho referentes à cor, tipo de porosidade, porcentagem de vasos múltiplos e solitários, disposição do parênquima longitudinal, largura dos raios em número de células, valor máximo de altura dos raios em número

de células e frequência dos raios foram estatisticamente significativas neste componente, explicando 35,12% da variância total. A correlação dos registros deste componente principal com a precipitação média (indica a disponibilidade de água no solo) de cada sítio mostrou boa correlação, com valor de $R^2 = 0,512$ (Figura 3).

No componente principal 2, as características anatômicas do lenho referentes ao comprimento de vasos, presença de apêndice, diâmetro interno das pontoações intervasculares e raio-vasculares e abundância de cristais foram significativas, explicando 25,81% da variação dos dados.

No componente principal 3, as características anatômicas do lenho referentes à espessura da parede das fibras e altura em micrômetros do parênquima radial foram significativas, explicando 16,59% da variância total dos dados.

No componente principal 4, o diâmetro dos vasos foi significativo e explica 14,21% da variabilidade dos dados.

Tabela 4. Autovalores e autovetores na análise multivariada por componentes principais.

Table 4. Eigenvalues and eigenvector of multivariate analysis for principal components.

Características		Nome da variável	Número de componentes				
			1	2	3	4	5
Gerais	Cor do cerne	VAR3	-0,783	0,422	0,067	0,264	-0,365
	Direção da grã	VAR4	-0,132	-0,323	-0,414	-0,593	-0,596
	Demarcação camadas crescimento	VAR5	0,617	-0,632	0,125	-0,441	0,098
Vasos	Tipo de porosidade	VAR6	-0,783	0,422	0,067	0,264	-0,365
	Solitários	VAR7	0,960	0,257	0,000	0,105	0,025
	Múltiplos	VAR8	-0,960	-0,257	0,000	-0,105	-0,025
	Frequência	VAR9	-0,590	0,009	-0,532	-0,568	-0,216
	Ø do lume	VAR10	0,103	0,284	-0,478	-0,725	-0,393
	Comprimento	VAR11	0,008	-0,934	-0,327	0,095	0,106
	Presença de apêndice	VAR12	-0,358	0,871	0,310	0,129	-0,010
	Ø pontoações intervasculares	VAR13	0,246	-0,507	0,566	0,165	-0,579
	Ø abertura das pontoações	VAR14	-0,229	-0,856	0,160	0,301	-0,315
	Fibras	Comprimento	VAR15	-0,658	-0,130	0,472	0,397
Largura		VAR16	0,540	0,505	0,281	-0,497	0,356
Espessura da parede		VAR17	-0,389	-0,119	-0,814	0,294	0,292
Quantidade de septos		VAR18	0,583	0,661	0,311	0,263	-0,239
Abundância de cristais		VAR19	0,391	0,859	0,130	0,041	-0,302
Parênquima longitudinal	Disposição	VAR20	-0,941	0,210	-0,001	-0,134	0,229
	Ø pontoações	VAR21	-0,567	-0,592	0,434	0,367	0,067
	Ø abertura das pontoações	VAR22	-0,289	-0,201	-0,660	0,595	-0,293
Parênquima radial	Número de células em largura	VAR23	-0,941	0,210	-0,001	-0,134	0,229
	Qtde mínima de células em altura	VAR24	0,653	-0,270	-0,479	0,496	-0,159
	Qtde máxima de células em altura	VAR25	0,735	0,128	-0,407	0,342	0,401
	Largura	VAR26	-0,441	0,524	-0,426	-0,550	0,217
	Altura	VAR27	0,342	-0,115	-0,893	0,198	0,182
	Frequência	VAR28	-0,900	0,195	-0,294	0,251	0,048
	Ø pontoações parênq-vascular	VAR29	-0,354	-0,588	0,455	-0,535	0,191
	Ø abertura das pontoações	VAR30	0,071	-0,913	0,137	-0,374	0,054
Autovalores			9,835	7,227	4,647	3,98	2,31
Autovalores acumulados			9,835	17,062	21,709	25,69	28,00
Proporção da variância			35,124	25,812	16,596	14,21	8,26
Proporção da Variância acumulada			35,124	60,936	77,532	91,74	100,0

As principais variações na anatomia do lenho podem ser representadas pela relação entre os componentes principais 1 e 2, observando-se que as árvores de clima tropical seco separam-se das de tropical úmido, conforme indicado nas elipses para cada clima (Figura 4). As variações das árvores do clima

tropical seco ocorreram mais no sentido do componente principal 1 (relacionadas com a dimensão e a forma dos elementos de condução da água no lenho), diferente das árvores de clima tropical úmido com variações na anatomia da madeira, ocorrendo no sentido do componente 2.

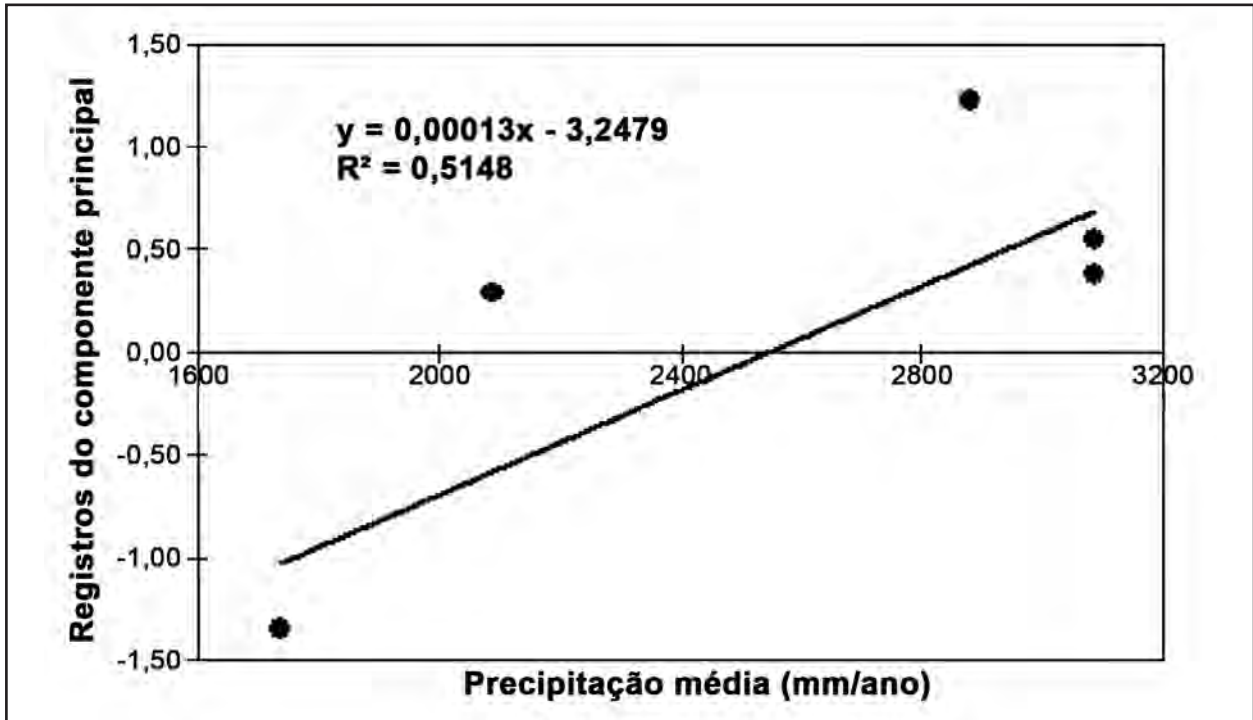


Figura 3. Relação dos registros do componente principal 1 com a precipitação média anual.
Figure 3. Relation between scores of principal components 1 with average/year precipitation.

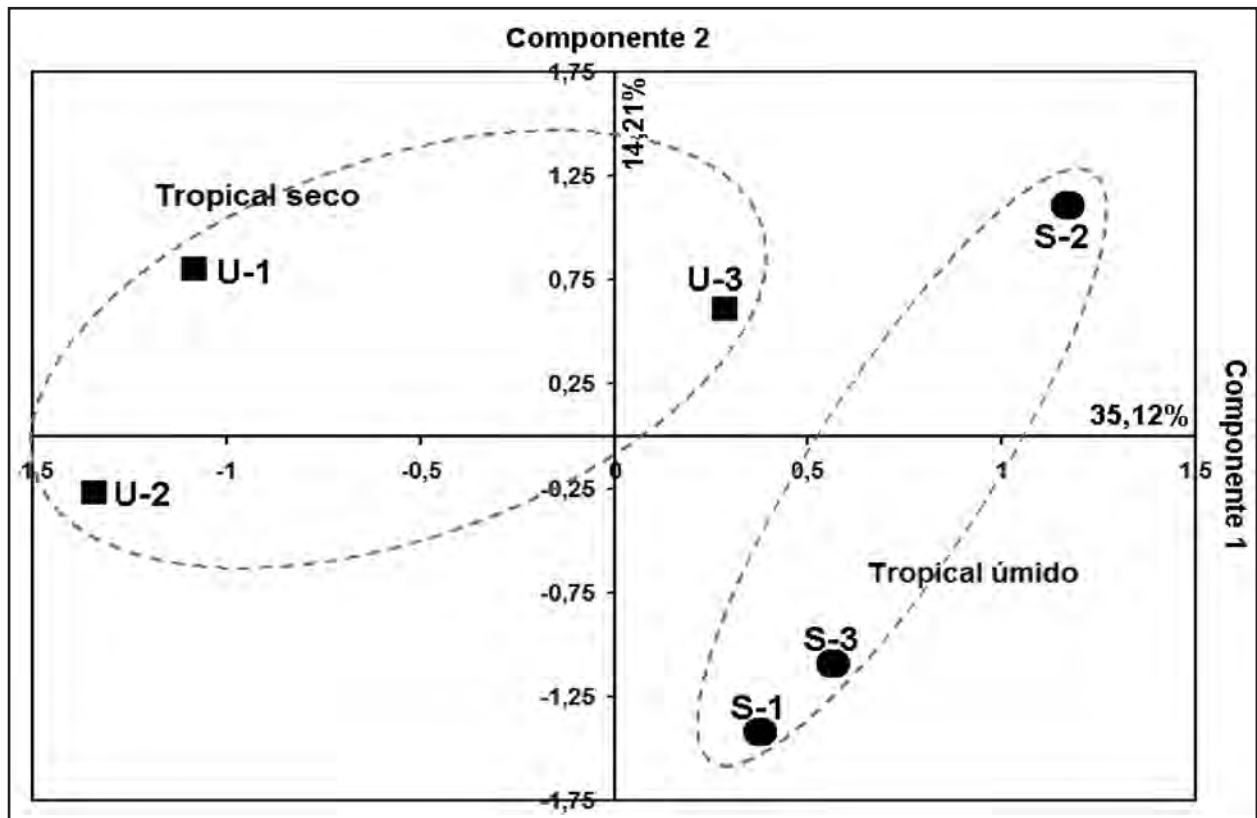


Figura 4. Gráfico de dispersão dos registros das diferentes árvores de *Gmelina arborea* amostradas.
Figure 4. Scatter plot of scores from multivariate analysis of sampled trees of *Gmelina arborea*.

DISCUSSÃO

Algumas características anatômicas do lenho, observadas em árvores de gmelina que cresceram na Costa Rica, diferem das apresentadas por Pearson e Brown (1932) para as amostras do lenho de árvores de gmelina cultivadas na Índia como: (i) as camadas de crescimento distintas e com porosidade em anel semi-poroso, que ocorrem somente em sítios secos na Costa Rica, diferentemente das árvores de clima úmido com porosidade difusa; (ii) os vasos com leve tendência à disposição em faixas tangenciais no lenho das árvores de gmelina cultivadas no clima tropical seco da Costa Rica e não reportados no lenho das árvores da espécie na Índia; (iii) maior frequência de parênquima radial no lenho das árvores de gmelina cultivadas na Índia, em relação às da Costa Rica.

Em uma variação em latitude e longitude de aproximadamente 1°, para as duas regiões da Costa Rica, foram detectadas algumas diferenças na estrutura anatômica do lenho das árvores de gmelina, indicando sua adaptação às condições climáticas. Destacam-se: a coloração do lenho; dimensão e distribuição dos vasos; tipo de parênquima longitudinal; dimensões e distribuição do parênquima radial, de acordo com os resultados da análise multivariada por componentes principais (Tabela 4).

Apesar de a gmelina constituir-se em uma das mais importantes espécies introduzidas em países tropicais, não foram encontradas indicações na literatura sobre a anatomia do lenho das árvores cultivadas em diferentes condições de clima sendo feita, normalmente, referência a Pearson e Brown (1932) que analisaram amostras do lenho da espécie na Índia, embora de procedência não indicada. O projeto "Inside Wood" da Universidade do Estado da Carolina do Norte (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/search/>) descreve a estrutura anatômica da madeira de gmelina, que mostra algumas similaridades importantes com as observadas neste trabalho. São elas: formação de anéis de crescimento distintos e indistintos; presença de tiloses e de cristais; características e dimensões das fibras; presença de parênquima longitudinal vasicêntrico escasso e abundante; raios heterocelulares; e coloração do cerne/alburno.

A análise por componentes principais evidenciou o grau de participação e de importância dos elementos anatômicos do lenho nos 2 primeiros componentes.

O componente principal 1 correlacionou-se com o tipo de porosidade, presença de vasos múltiplos, células em largura e frequência dos raios (Tabela 4), que têm como principal função o fluxo de seiva mineral (vasos) e o armazenamento de compostos de reserva (raios) no lenho das árvores de gmelina, estando relacionados com a disponibilidade de água no solo (TAIZ e ZEIGER, 2004). A disponibilidade de água afeta os processos fisiológicos das árvores e, conseqüentemente, a formação do cerne relacionando-se, em alguns casos, com a cor da madeira (YANG *et al.*, 2003). De fato, a correlação dos registros ("scores") com a precipitação média de cada sítio nos quais as árvores se desenvolveram, mostrou boa correlação (Figura 3).

O componente principal 2 demonstrou que foram significativos a dimensão e o diâmetro dos vasos, a abertura das pontoações intervasculares e raio-vasculares, características anatômicas do lenho associadas ao fluxo de seiva mineral (TAIZ e ZEIGER, 2004) e relacionadas com a capacidade de transporte no xilema das árvores de gmelina. Esses parâmetros anatômicos do lenho são importantes pela sua relação com o fluxo de água e de sais minerais em sítios secos e sem déficit hídrico e, desta forma, influenciando as taxas de crescimento das árvores de gmelina (AKACHUKU, 1985).

A análise estatística multivariada por componentes principais (Tabela 4) e a estrutura do lenho possibilitaram estabelecer que, de modo geral, os vasos (dimensões, distribuição, porosidade), parênquima radial (dimensões, frequência e número de células) e longitudinal (distribuição) são modificados, provavelmente, em resposta às condições climáticas, como a precipitação média anual, a temperatura, a quantidade de horas luz, dentre outras. Os resultados obtidos corroboram as análises da anatomia do lenho de gmelina de outras regiões (CHOWDHURY, 1947, CHOWDHURY, 1953, AKACHUKU e BURLEY, 1979, AKACHUKU, 1985 e OHTANI *et al.*, 1989), indicando que os vasos e o parênquima são os elementos anatômicos que refletem as mudanças do ambiente.

Nas árvores de gmelina, as condições ecológicas dos locais de estudo podem ter induzido alterações na anatomia do lenho, com respeito às células importantes para o fluxo de seiva mineral e reserva de nutrientes, corroborando resultados de inúmeras pesquisas, como as realizadas por Baas (1973), Van Der Graff e Baas (1974), Van Den Oever *et al.* (1981), Lindorf (1994), Noshiro e Baas (2000), Lens *et al.*

(2004), dentre outras. No lenho de árvores da família Symplocaceae e do gênero *Ilex* os vasos e raios mostram uma alta correlação com as variações da latitude e longitude (VAN DEN OEVER *et al.*, 1981; BAAS 1973). Da mesma forma, no lenho de *Dodonaea viscosa* (LIU e NASHIRO, 2003), *Cornus controversa*, *C. macrophylla* (NOSHIRO e BAAS, 2000), de alguns gêneros de Vaccinioideae e *Vaccinium* (LENS *et al.*, 2004) e de 25 espécies vegetais de diferentes tipos de clima (VAN DER GRAFF e BAAS, 1974) observaram-se relações entre a anatomia do lenho e as variações da latitude e longitude. O diâmetro dos vasos e a presença de cristais determinaram a variação anatômica do lenho de espécies de Rosaceae pela análise de componentes principais (ZHANG *et al.*, 1989), conforme verificado para as árvores de gmelina. Os vasos de diâmetro pequeno, curtos e agrupados foram observados no lenho de árvores de espécies tropicais da América em sítios de baixa precipitação (LINDORF, 1994), em concordância com o observado para gmelina na Costa Rica. Outras pesquisas relacionam as condições climáticas e a anatomia do lenho de árvores de diferentes espécies, citando-se Alves e Angyalossy-Alfonso (2002), no Brasil, que detectaram o efeito de sítios secos na formação das camadas de crescimento, dimensão das fibras, parênquima longitudinal e nas características dos vasos, sem haver influência no parênquima radial. Da mesma forma, no México, Barajas (1985) verificou no lenho de árvores de espécies de zonas secas, a formação de cerne mais escuro, de alta densidade e dureza, maior quantidade de cristais, fibras de menor comprimento, vasos de menor comprimento, parede espessa e em maior frequência em relação ao lenho das espécies de áreas úmidas.

Pelos resultados da análise por componentes principais foi possível determinar a correlação das condições climáticas com a estrutura anatomia do lenho de gmelina. No entanto, cabe destacar que, além da precipitação, estão inseridos outros parâmetros ecológicos, como a altitude, longitude que, em conjunto, induzem variação fenotípica na estrutura anatômica do lenho das espécies (BAAS, 1973).

Nas árvores de gmelina cultivadas na Costa Rica, as características dos vasos no lenho estão correlacionadas, principalmente, com a precipitação. Baas (1973) observou, nas condições secas dos sítios tropicais, uma maior especialização dos elementos anatômicos, corroborando os resultados obtidos na análise da anatomia do lenho das árvores de gmelina cultivadas nos climas tropical seco e úmido na Costa Rica.

CONCLUSÕES

As alterações na anatomia do lenho observadas nas árvores de gmelina foram referentes aos vasos (disposição, porosidade), parênquima paratraqueal (arranjo, tipo) e radial (frequência, comprimento, número de células).

Dos elementos anatômicos, os vasos mostraram maior adaptação às variações climáticas, expressa pela variação das suas dimensões e significância dos componentes principais na análise multivariada.

As alterações da anatomia do lenho, em função das condições climáticas, foram resumidas em 4 componentes principais na análise multivariada, explicando 91,74% das variações, com os 2 primeiros componentes com 60,93% da variação.

As variações na anatomia do lenho foram determinantes na sua coloração, porcentagem de vasos múltiplos, disposição do parênquima longitudinal, células em largura e frequência do parênquima radial. Em segundo plano, encontram-se o comprimento e apêndice dos vasos, diâmetro da abertura das pontuações intervasculares e raio-vasculares e a presença de cristais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKACHUKU, A.E. The effects of some extrinsic and intrinsic factors on the proportion of vessels in *Gmelina arborea* Roxb. **Wood Science and Technology**, New York, v.19, n.1, p.5-12, 1985.
- AKACHUKU, A.E.; BURLEY, J. Variation of anatomy of *Gmelina arborea* Roxb. in Nigerian plantations. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.4, p.94-99, 1979.
- ALVES, D.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species: 2- axial parenchyma, rays and fibers. **IAWA Journal**, Leiden, v.23, n.4, p.391-418, 2002.
- BAAS, P. Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy. In: BAAS, P. **New perspectives in wood anatomy: systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy**. Boston: Martinus Nijhoff/Dr. W., London: Publishers Junk, 1982. p.23-58.
- BAAS, P. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. **Blumea**, Leiden, v.21, p.193-258, 1973.

- BARAJAS, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bulletin New Series**, Leiden, v.6, n.4, p.355-364, 1985.
- CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy: systematic ecological, and evolutionary aspects of dicotyledonous wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 436p.
- CHOWDHURY, K.A. Initial parenchyma cells in dicotyledonous. **Nature**, Paris, v.160, p. 609, 1947.
- CHOWDHURY, K.A. The role of initial parenchyma in the transformation of the structure diffuse-porous to ring-porous in the secondary xylem of the genus *Gmelina* Linn. **Proceedings of the National Institute of Sciences of India**, New Delhi, v.19, n.3, p.361-369, 1953.
- COPANT - COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira: esquema 1**. São Paulo, 1974. v.30, p.1-19.
- IAWA - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p.226-332, 1989.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: angiospermas e gimnospermas**. Brasília: Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação, 1992. 17p. (Série Técnica, 15).
- JEFFERS, J.N. Two case studies in the application of principal component analysis. **Applied Statistics**, London, v.16, p.225-236, 1967.
- JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: MacGraw-Hill, 1940. 533p.
- LENS, F.; GASSON, E.; SMETS; JANSEN, S. Comparative wood anatomy of epacrids (Styphelioideae, Ericaceae s.l). **Annals of Botany**, Oxford, v.91, n.7, p.835-856, 2003.
- LINDORE, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. **IAWA Journal**, Leiden, v.15, n.4, p.361-376, 1994.
- LIU, J.; NOSHIRO, S. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonaea viscosa*. (Sapindaceae). **American Journal of Botany**, New York, v.90, n.4, p.532-539, 2003.
- MAC CORPORATION. **Munsell soil color charts**. New York: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation, 1994. 35p.
- MOYA ROQUE, R. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. **New Forests**, Amsterdam, v.28, n.2/3, p.299-307, 2004.
- NOSHIRO, S.; BAAS, P. Latitudinal trends in wood anatomy within species and genera: case in *Cornus* S.L. (Cornaceae). **American Journal of Botany**, New York, v.87, n.10, p.1495-1506, 2000.
- NOSHIRO, S.; JOSHI, L.; SUZUKI, M. Ecological wood anatomy of *Alnus nepalense* (Betulaceae) in East Nepal. **Journal of Plant Research**, Sendai, v.107, p.399-408, 1994.
- OHTANI, J.; JING, W.; FUKAZAWA, K.; SHAO QUN, X. Multiple perforation plates in *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae). **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.1, p.35-41, 1989.
- PEARSON, R.S.; BROWN, H.P. **Commercial timber of India**. New Delhi: Government of India Central Publication Branch, 1932. 600p.
- RIBEIRO, T.P. **Método complementar de análise da qualidade da madeira com técnicas de processamento digital de imagens**. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT®: user's guide: version 6.08**. Carrey, 1997. v.2, 846p.
- SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 2.ed. Iowa: State College Press, 1951. 228p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- VAN DER GRAFF, V. ; BAAS, P. Wood anatomical variation in relation to latitude and altitude. **Blumea**, Leiden, v.22, p.101-121, 1974.

VAN DER OEVER, L.; BAAS, P.; ZANDEE, M. Comparative wood anatomy of *Symplocos* and latitude and altitude of provenance. **IAWA Bulletin New Series**, Leiden, v.2, n.1, p.3-24, 1981.

WILKINS, A.P.; PAPASSOTIRIOU, S. Wood anatomical variation of *Acacia melanoxylon* in relation to latitude. **IAWA Bulletin New Series**, Leiden, v.10, n.2, p.201-207, 1989.

YANG, J.; PARK, S.; KAMDEM, D.P.; KEATHLEY, D.E.; RETZEL, E.; PAULE, C.; KAPUR, V.; HAN, K. Novel gene expression profiles define the metabolic and physiological processes characteristic of wood and its extractive formation in a hardwood tree species, *Robinia pseudoacacia*. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v.52, n.5, p. 935-956, 2003.

ZHANG, S.Y.; BAAS, P.; ZANDEE, M. Wood structure of the Rosaceae in relation to ecology, habit and phenology. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.13, n.3, p.307-349, 1989.

Recebido em 19/04/2006

Aceito para publicação em 14/09/2007

