

# CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DE MADEIRAS NATIVAS DO CERRADO COM VISTAS À PRODUÇÃO DE ENERGIA

José Elias de Paula<sup>1</sup>

RESUMO: Foram estudadas 8 espécies ocorrentes no cerrado (chapada) do município de Santa Quitéria (Maranhão). Dentre os parâmetros determinados para qualificação de madeira destinada à geração de energia, notadamente carvão siderúrgico e lenha, citam-se a fração parede das fibras, dos vasos e das células parenquimatosas, a densidade básica, o percentual de fibras e a biomassa total por m<sup>3</sup> de madeira seca. As espécies com potencial para produção de madeira destinada à geração de energia são: *Buchenavia ochroprumna* Eichler, *Chomelia parviflora* (M. Arg.) M. Arg., *Copaifera maritii* Hayne, *Caryocar coriaceum* Wittm., *Dipteryx alata* Vog., *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Leilang., *Cordia bicolor* DC. e *Anacardium microcarpum* Ducke, e podem ser indicadas para produção de papel.

PALAVRAS-CHAVES: madeira anatomia.

## ANATOMIC CHARACTERIZATION OF CERRADO NATIVE WOOD AIMIG AT ENERGY PRODUCTION

ABSTRACT: A study of wood anatomy of eight natives species from "cerrado" vegetation suitable for energy was carried out in this paper. The total biomass was estimated from measurement of specific gravity. Among the parameters considered for wood qualification for energy production, were wall fraction of fibres and vessels, and frequency of fibres, as well as radial and axial parenchyma. The species with wood suitable for charcoal production are: *Buchenavia ochroprumna*, Eichler, *Chomelia parviflora* (M. Arg.) M. Arg., *Copaifera maritii* Hayne, *Caryocar coriaceum* Wittm. *Dipteryx alata* Vog. and *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Leilang; *Cordia bicolor* DC. and *Anacardium microcarpum* Ducke, for production of pulp for paper.

KEY WORDS: wood, anatomy.

---

<sup>1</sup> Professor da Universidade de Brasília/Instituto de Botânica - 70910-900 Brasília, DF.; Bolsista do CNPq.

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos anatômicos das madeiras têm sido realizados, na sua grande maioria, com vistas ao respaldo e subsídio à taxonomia, em pequena escala relacionados com a fisiologia e ecologia, e em alguns casos puramente acadêmicos. Porém, nesse trabalho, o objetivo é direcionado à qualificação de madeira para geração de energia, como carvão siderúrgico e lenha. Nesse sentido, são considerados parâmetros anatômicos que dizem respeito à qualificação da madeira para fins energéticos, dispensando-se, portanto, alguns aspectos anatômicos puramente descritivos.

Nossa busca bibliográfica revelou a existência de poucos trabalhos com madeiras de cerrado comparativamente ao grande número de espécies existentes nesse ecossistema, não só do ponto de vista anatômico, como tecnológico. Em Pinho (1966), encontram-se informações substanciais descritivas acerca da anatomia da madeira de 12 espécies do cerrado sem contudo, relacionar as características anatômicas com o uso adequado da madeira. Felfili e Silva Junior (1988) e Silva Junior e Silva (1988) realizaram estudos sobre a distribuição diamétrica em vegetação de cerrado, no Distrito Federal e Paraopeba (Minas Gerais), e afirmam que a maioria dos indivíduos de um total de 2014 apresentou tronco com diâmetro entre 5 e 9 cm e que 80% das árvores de *Sclerobium paniculatum* se situam nas classes com diâmetro de até 13 cm basal.

Por outro lado, a crise econômica mundial que teve início em setembro de 1973, decorrente das constantes e exorbitantes elevações do preço do petróleo

praticadas pelos países árabes exportadores desse produto devido a guerra desses países com o Estado de Israel e seus aliados, é um bom, porém, lamentável exemplo, para que o Brasil, sem medir esforços, procure, em tempo hábil, desenvolver tecnologia destinada à exploração sustentada de energia acumulada nos vegetais, especialmente formando grandes maciços florestais heterogêneos com espécies nativas com vocação energética. Aliás, em consequência do alto custo do petróleo nas décadas de 1970 e 1980, vários países, inclusive o Brasil, passaram a explorar energia de fitomassa. O consumo de carvão vegetal pelas siderurgias e metalúrgicas nacionais é muito elevado. São cerca de 875 kg de carvão por tonelada de ferro gusa. Um alto forno consome 19 mil m<sup>3</sup> de carvão vegetal por mês. Em 1992, de um total de 6,8 milhões de toneladas de ferro gusa produzido no Brasil, cerca de 4,2 milhões foram fabricadas utilizando como fonte energética carvão vegetal de florestas nativas (Medeiros 1995). É evidente que toda a madeira utilizada na produção desse carvão foi obtida por método extrativista sem selecionar as melhores espécies, idade, diâmetro e nem a conveniência ou não de cortar as toras naquele momento e local. Ressalta-se que o extrativismo provoca extinção de espécies. Portanto, é premente a formação de grandes maciços florestais heterogêneos energéticos com espécies de boa qualidade, para essa finalidade, pelo menos a partir daquelas cujo indivíduos que foram eliminados aleatoriamente. É com o objetivo de contribuir para a qualificação de madeira destinada à geração de energia que foi realizado este trabalho e, por extensão, a seleção de espécies com vocação energética à formação desses maciços florestais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O cerrado onde as amostras de madeira foram coletadas está localizado no município de Santa Quitéria, Estado do Maranhão, entre os meridianos 42° 50' e 43° 10' W de Greenwich e os paralelos 3° 30' e 3° 50' de latitude sul, cujos solos são aluviais. As árvores são esparsas, facilitando a penetração dos raios solares com mais intensidade, favorecendo a formação de um estrato herbáceo dominado por gramíneas. Nesse cerrado realizamos inventário dendrométrico em três hectares disjuntivos, cujos resultados foram 471 árvores por hectare, em média, com DAP a partir de 5 cm.

As amostras de madeira das 8 (oito) espécies estudadas foram coletadas em vegetação de cerrado, na Fazenda MARFLORA, município de Santa Quitéria (Maranhão). A coleta e a identificação científica das espécies foram feitas pelo próprio autor.

Para cada espécie coletou-se um disco, com diâmetro a partir de 18 cm, obtido na altura do DAP (1,30 m), de árvores plenamente adultas. Coletou-se, também, material botânico fértil que serviu para a identificação científica dos binômios respectivos, o qual foi incorporado ao acervo do Herbário da Universidade de Brasília (UB), sob número de coleta, conforme discriminação a seguir.

*Anacardium microcarpum* Ducke (Anacardiaceae, conhecida por cajuí, UB 3325), DAP 15 cm; *Buchenavia ochroprumna* Eichler (Combretaceae, mirindiba, UB 3415), DAP 18 cm; *Chomelia parviflora* (M. Arg.) M. Arg. (Rubiaceae, UB 3355), DAP 16,5 cm; *Copaifera martii* Hayne (Caesalpiniaceae, pau-d'óleo, UB 3419), DAP 17 cm; *Cordia bicolor* DC. (Boraginaceae, conhecida por jangada, UB

3434), DAP 17,5 cm; *Caryocar coriaceum* Wittm. (Caryocaraceae, piqui., UB 438) DAP 15 cm; *Dipteryx alata* Vog. (Fabaceae, garampara, UB 3362), DAP 17 cm; *Hymenaea coubaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Leilang (Caesalpiniaceae, jatobá do cerrado, UB37), DAP 18 cm.

De cada amostra circular, preparou-se um corpo de prova em forma de cunha, do qual foram obtidos três blocos com seis faces, em áreas disjuntivas, orientadas do centro em direção ao alborno, denominadas área 1, área 2 e área 3 (Fig. 1). Desses blocos foram obtidos cortes histológicos no micrótomo Jung, cuja espessura variou entre 25 e 40  $\mu\text{m}$ . Tais blocos foram previamente colocados no autoclave para diminuir a dureza, sob pressão de 1 atmosfera e temperatura de 120°C. Os cortes histológicos foram clarificados com hipoclorito de sódio a 50%, corados com safranina diluída em álcool a 50%, desidratados e montados com bálsamo-do-canadá, em lâminas apropriadas.

A contagem de vasos por  $\text{mm}^2$ , bem como dos raios por mm linear, foi feita em microscópio com auxílio de câmara clara e escala micrométrica objetiva e ocular, utilizando cortes transversais e tangenciais, respectivamente. A fração parede dos elementos celulares constituintes da madeira foi determinada usando-se a fórmula  $100.2e/D$ , em que (e) representa a espessura da parede e (D) o diâmetro total da célula, inclusive das fibras, valor representado em porcentagem (Saigiya, 1972; Foelkel e Barrichello, 1976; Paula 1989; Paula e Alves 1997). Esse parâmetro apenas estima percentualmente a quantidade de celulose, lignina e hemiceluloses nas paredes das células.

Mediram-se a espessura da parede celular, o diâmetro dos vasos, das fibras e das

células parenquimatosas, bem como, a largura e altura dos raios e o comprimento das fibras e dos elementos de vaso, usando-se uma escala micrométrica ocular com fator de correlação conhecido. O coeficiente de flexibilidade das fibras, conhecido também por índice de feltragem, foi determinado pela razão do comprimento (L) sobre a largura (W). Determinou-se o coeficiente de rigidez da fibra pela razão percentual entre o diâmetro do lume (d) sobre o diâmetro total (D):  $100.d/D$ . Esse parâmetro indica o grau de colapso (achatamento) das fibras no processo de fabricação do papel.

O índice de Runkel é a razão de duas vezes a espessura da parede da fibra sobre o diâmetro do lume:  $2 e/d$ . Esse índice, na prática, tem o mesmo significado do coeficiente de rigidez, pois quanto mais espessa a parede da fibra, mais alto será o índice e, mais celulose, mais lignina e mais hemiceluloses terá a fibra.

O diâmetro do lume é a diferença entre o diâmetro total e 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 tida como excelente para papel;

II – 0,25 – 0,50 muito boa para papel;

III – 0,50 – 1,00 boa para papel;

IV – 1,00 – 2,00 regular para papel;

Grupo V – acima de 2,0 não deve ser usada para papel, tendo em vista tratar-se de fibras com paredes espessas ou muito espessa.

O percentual das fibras foi determinado utilizando-se fotomicrografias de cortes histológicos transversais da madeira com área conhecida, e com um planímetro procedeu-se a leitura das áreas ocupadas por fibras.

A densidade básica (DB) foi determinada usando-se amostras de madeira

seca (peso constante) em estufa à temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$ ; em seguida procedeu-se a razão direta entre o peso seco e o volume da respectiva amostra saturada (peso constante), valor apresentado em  $\text{kg}/\text{m}^3$ . A biomassa total por  $\text{m}^3$  de madeira seca foi determinada tomando-se por base a densidade das médias das áreas 1, 2 e 3 (Fig.1).

Os valores constantes das Tabelas 1, 2 e 3 refletem a media, inclusive da largura e altura dos raios, executando-se o parênquima axial. Adotou-se a terminologia recomendada por IAWA (1989) e Normas COPANT (1974).

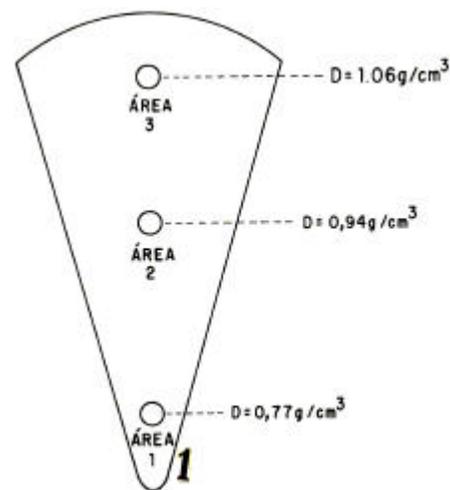


Figura 1

*Buchenavia ochroprumna* - corpo de prova em forma de cunha, mostrando as áreas de onde foram tiradas as amostras para determinação da densidade, sendo a área 1 a mais interna do tronco.

*Buchenavia ochroprumma* – cuneiform wood sample showing from where samples were taken to determine density, in which area 1 is the most internal of the trunk.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão e facilidade nas análises dos parâmetros determinados, reuniu-se grande parte dos resultados nas tabelas 1, 2 e 3, evitando a repetição de dados.

*Anacardium microcarpum* (Fig. 2 e 3). **Vasos**, predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos radiais de até 4 elementos, cujo diâmetro tangencial variou entre 94 e 299  $\mu\text{m}$ ; a ocorrência foi de zero a 3 vasos por  $\text{mm}^2$ ; fração parede dos elementos de vaso 6,90%; **elementos de vaso**, com placa de

perfuração simples, total e terminal, curtos, 460  $\mu\text{m}$  de comprimento médio, variando de 360 e 500, cuja largura foi de 270  $\mu\text{m}$ , em média, intervalo de variação entre 250 e 300; alguns elementos de vaso apresentam apêndice curto em uma das extremidades; **pontoações** intervasculares alternas, areoladas, com abertura inclusa. **Parênquima axial**, apotraqueal, escasso, fração parede das células desse parênquima 8,33%. **Raios**, homogêneos, constituídos de células quadradas e eretas, ou ainda procumbentes e quadradas, às vezes homogêneas (células procumbentes, ou seja horizontais), 1-4 seriados, extremamente

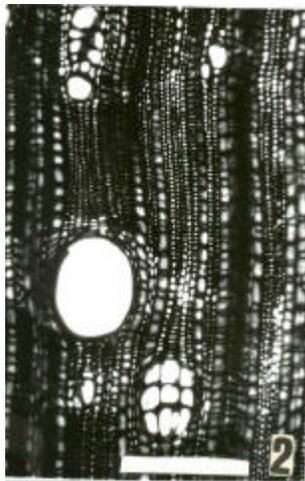


Figura 2  
*Anacardium microcarpum* - corte transversal da madeira mostrando fibras (partes negras) e raios estreitos (partes claras em faixas). Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Anacardium microcarpum* – transversal wood section showins fibers (black parts) and narrow raus (white strips). Scale of 200  $\mu\text{m}$ .



Figura 3  
*Anacardium microcarpum* - corte tangencial mostrando muitos raios extremamente baixos (faixas brancas) e fibras (partes negras). Escala de 200  $\mu\text{m}$

*Anacardium microcarpum* – tangential section showins a large number of short rangs (white strips) and fibers (black parts). Scale of 200  $\mu\text{m}$ .

baixos, variando entre 220 e 470  $\mu\text{m}$  de altura, estreitos, entre 40 e 90  $\mu\text{m}$  de largura, pouco numerosos, de 5 a 10 raios por mm linear; ocorrem células radiais com concreções silicosas. **Fibras**, abundantes, de parede moderadamente fina, muito curtas, variação entre 800 e 1150  $\mu\text{m}$  de comprimento (tabela 1, 2 e 3).

*Buchenavia ochroprumna* (Fig. 1, 4, 5 e 6). **Vasos**, predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos radiais de até 3 elementos, entre 3 e 4 vasos por  $\text{mm}^2$ , diâmetro tangencial de 110 a 154  $\mu\text{m}$ , fração parede dos elementos de vaso 10,45%; **elementos de vaso**, com placas de

perfuração simples, total e horizontal, longo, 560  $\mu\text{m}$  de comprimento médio, variando entre 180 e 606, largura média 131  $\mu\text{m}$ , intervalo de variação entre 80 e 140; **pontoações** intervasculares alternas, areoladas, com abertura parcialmente exclusiva. **Parênquima axial**, pouco, paratraqueal, vasicêntrico, ocorrendo, também, faixas terminais curtas e estreitas, às vezes longas; fração parede das células parênquimatosas, 12,26%. **Raios**, homogêneos, 1-seriados, extremamente baixos, entre 280 e 310  $\mu\text{m}$  de altura, muito finos, variando entre 13 e 28  $\mu\text{m}$  de largura, numerosos, entre 7 a 12 raios por mm

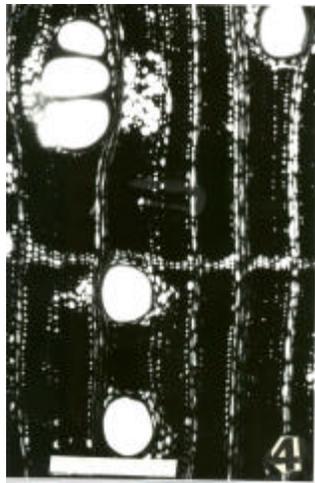


Figura 4  
*Buchenavia ochroprumna* - corte transversal onde se vê fibras (áreas negras), vasos (partes claras ovóides) e uma faixa de parênquima axilal terminal. Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Buchenavia ochroprumna* - tangential section showins fibers (black areas) vessels (egg-shaped and seum-spherical white parts) and strips of terminal axial parenquyma. Scale of 200  $\mu\text{m}$ .



Figura 5  
*Buchenavia ochroprumna* - corte tangencial mostrando raios 1- seriados, muito baixos (faixas brancas) e fibras (partes negras). Escala de 200  $\mu\text{m}$

*Buchenavia ochroprumna* - tangential section showins serial rays, very low (white strips) and fibers (black areas). Scale of 200  $\mu\text{m}$ .

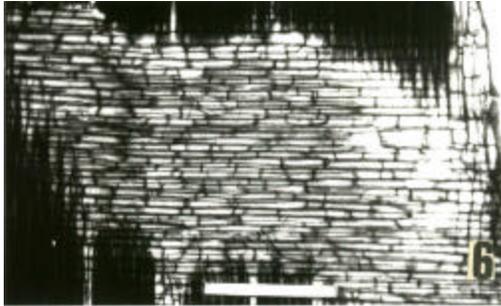


Figura 6  
*Buchenavia ochroprumna* – corte radial mostrando raios heterogêneos constituídos de células procumbentes. Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Buchenavia ochroprumna* – radial sections showings homogeneous rays made of “rocumbent” cels. Scale of 200  $\mu\text{m}$ ..

linear, fração parede das células radiais 24,86%. **Fibras**, abundantes, de parede espessa, curtas, variando entre 700 e 1240  $\mu\text{m}$  de comprimento.

*Caryocar coriaceum* (Fig. 7 e 8). **Vasos**, solitários e múltiplos radiais, sem predominância de nenhum dos tipos, diâmetro tangencial variando entre 158 e 196  $\mu\text{m}$ , até 2 vasos por  $\text{mm}^2$ ; **elementos de vaso**, com placa de perfuração simples, total e terminal, às vezes oblíqua, curtos 458  $\mu\text{m}$  de comprimento médio, variando entre 441 e 492  $\mu\text{m}$ , cuja largura média foi de 247  $\mu\text{m}$ , com intervalo de variação entre 236 e 265; **pontoações** intervasculares alternas, areoladas, com abertura exclusiva coalescente; fração parede da ordem de 9,63%. **Parênquima axial**, escasso, apotraqueal, difuso; fração parede das células 18,80%. **Raios**, homogêneos, predominam os 1-2 seriados, muito numerosos, entre 9 e 15 raios por mm linear, finos, com intervalo de

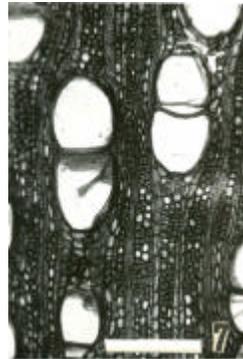


Figura 7  
*Caryocar coriaceum* – corte transversal mostrando fibras abundantes (partes negras). Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Caryocar coriaceum* – transversal section showing a large number of fibers (black parts). Scale of 200  $\mu\text{m}$ .



Figura 8  
*Caryocar coriaceum* - corte tangencial, onde se vê raios 1-2 seriados (faixas brancas) e fibras (partes negras estriadas). Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Caryocar coriaceum* – tangential section showing 1-2 seriate rays (white strips) fibers (black parts). Scale de 200  $\mu\text{m}$ .

variação entre 25 e 31  $\mu\text{m}$  de largura, altura variando de 2090 a 4000  $\mu\text{m}$ ; fração parede das células radiais 20%; os raios apresentam-se ora 1-seriados; ocorrem também raios fusionados. **Fibras** abundantes, de parede muito espessa, muito longas, variando entre 2110 e 2197  $\mu\text{m}$  de comprimento (tabela 1, 2 e 3).

*Cordia bicolor* (Fig. 9 e 10). **Vasos**, predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos radiais de até 4 elementos, diâmetro tangencial de tamanho médio, variando de 87 a 134  $\mu\text{m}$ , poucos, ocorrência de 1 a 5 vasos por  $\text{mm}^2$ ; fração parede dos elementos de vaso 10%; **elementos de vaso** com placa de perfuração simples, total e terminal, às vezes oblíqua, 518  $\mu\text{m}$  de comprimento médio, variando entre 120 e 198; **pontoações intervasculares** alternas, apresentam apêndice em uma das extremidades, curtos, 315  $\mu\text{m}$  de comprimento médio, variando entre 300 e 360, com 150  $\mu\text{m}$  de largura média, variando entre 110 e 190; **pontoações intervasculares** areoladas, alternas, com abertura inclusa. **Parênquima axial**, freqüente, paratraqueal, unilateral abaxial, às vezes em faixas radiais com uma camada de células, fração parede das células 18,40%. **Raios**, homogêneos, predominam os 3-5 seriados, pouco numerosos, variando entre 4 a 6 raios por  $\text{mm}$  linear, muito baixos, com intervalo de variação entre 310 e 1400  $\mu\text{m}$  de altura, estreitos, variando entre 57 a 87  $\mu\text{m}$  de largura; fração parede das células radiais 20,%. Camadas de crescimento em algumas partes. **Fibras**, moderadamente abundantes, de parede fina, curtas, variando entre 920 a 1700  $\mu\text{m}$  de comprimento.

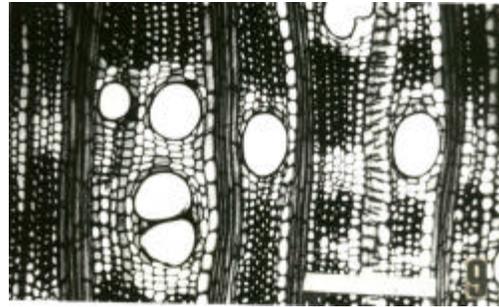


Figura 9

*Cordia bicolor* – corte transversal onde se observa muito parênquima axial (áreas brancas) e fibras (partes negras). Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Cordia bicolor* – transversal section showing axial parenchyma (white areas) and fibers (black areas). Scale de 200  $\mu\text{m}$ .



Figura 10

*Cordia bicolor* - corte tangencial mostrando raios multiseriados (faixas brancas) e fibras (áreas negras estriadas). Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Cordia bicolor* - tangential section showing multiseriate rous (white strips) and fibers (long shoped black areas). Scale de 200  $\mu\text{m}$ .

*Copaifera martii* (Fig. 11 e 12). **Vasos**, predominam os solitários, ocorrendo também geminados, diâmetro tangencial entre 120 e 200  $\mu\text{m}$ , muito poucos, variando entre 1 e 3 vasos por  $\text{mm}^2$ , fração parede dos elementos de vaso 12,70%; **elementos de vaso**, com apêndice em uma das extremidades, placa de perfuração simples, total e oblíqua, muito curtos, 382  $\mu\text{m}$  de comprimento médio, variando entre 330 e 400  $\mu\text{m}$ , com 140  $\mu\text{m}$  de largura média, variando entre 110 e 200  $\mu\text{m}$ ; **pontoações** intervasculares alternas, areoladas, guarnecidas, com abertura inclusa. **Parênquima axial**, muito pouco, paratraqueal, vasicêntrico, às vezes unilateral abaxial, ocorrendo também em faixa terminal; fração parede das células desse parênquima 28%. Canais secretores axiais dispostos em séries tangenciais. Camadas de crescimento evidentes e

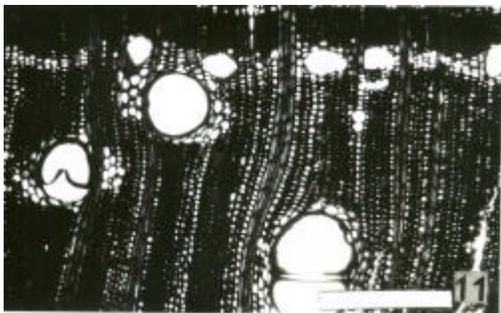


Figura 11  
*Copaifera martii* - corte transversal onde se observa fibras abundantes (partes negras) e canais secretores dispostos em séries tangenciais. Escala de 200  $\mu\text{m}$ .

*Copaifera martii* - transversal section showing a large number of fibers (black parts) and secretory channels layings in tangential series. Scale de 200  $\mu\text{m}$ .



Figura 12  
*Copaifera martii* - corte tangencial onde se vê raios multiseriados (partes brancas) e fibras (áreas negras estriadas). Escala 200  $\mu\text{m}$ .

*Copaifera martii* - tangential section showing multiseriate rays (white parts) and fibers (long-shaped black parts). Scale 200  $\mu\text{m}$ .

irregulares. **Raios**, homogêneos, 3-4 seriados, predominam os 3-seriados, extremamente baixos, entre 320 e 700  $\mu\text{m}$  de altura, finos, variando de 27 a 46  $\mu\text{m}$  de largura; fração parede das células radiais 20%. **Fibras**, abundantes de parede moderadamente espessa, curtas, com intervalo de variação entre 1000 e 1400  $\mu\text{m}$  de comprimento.

*Chomelia parviflora* (Fig. 13 e 14): **Vasos**, geminados e múltiplos radiais de até 8 elementos, sem predominância de nenhum dos tipo, diâmetro tangencial variando entre 25 e 44  $\mu\text{m}$ , extremamente numerosos, entre 141 e 178 vasos por  $\text{mm}^2$ ;

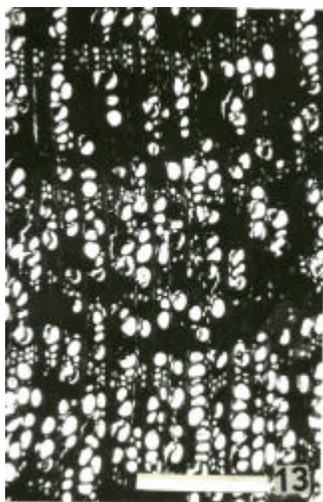


Figura 13  
*Chomelia parviflora* - corte trasnversal mostrando numerosos vasos (áreas brancas). Escala 200  $\mu\text{m}$

*Chomelia parviflora* - trasnversal section showing a large number of vessecs (white areas). Scale 200  $\mu\text{m}$ .

fração parede dos elementos de vaso 10,45%; **elementos de vaso**, com apêndice nas duas extremidades, placas de perfuração simples, total e terminal, longos, 596  $\mu\text{m}$  de comprimento médio, variando entre 550 e 750  $\mu\text{m}$ , com 49 $\mu\text{m}$  de largura média, cujo intervalo de variação entre 40 e 60  $\mu\text{m}$ ; **pontoações** intervasculares muito pequenas, areoladas, com abertura inclusa. Traqueídes frequentes. **Parênquima axial**, pouco, paratraqueal, em faixas curtas, ocorrendo também apotraqueal; fração parede das células 30,66%; **Raios**, heterogêneos, predominantemente 2-seriados, raramente 1 e 3 seriados, muito poucos, entre 1 e 3 raios por  $\text{mm}$  linear, cuja altura se situou entre 1020 e 2900  $\mu\text{m}$  e a largura entre 21 e



Figura 14  
*Chomelia parviflora* - corte tangencial mostrando raios 2-3 seriados (faixas claras) e fibras (áreas escuras). Escala 200  $\mu\text{m}$

*Chomelia parviflora* - tangencial section showing 2-3 seriate rays (white strips) and fibers (dark areas). Scale 200  $\mu\text{m}$ .

30  $\mu\text{m}$ ; às vezes ocorrem raios fusionados; fração parede das células radiais 16,43%. Ocorrem esclerócitos com parede espessa e pontoações simples entre as células radiais. **Fibras**, moderadamente abundantes, de parede muito espessa, curtas, variando entre 600 e 1430  $\mu\text{m}$ .

*Dipteryx alata* (Fig. 15 e 16). **Vasos**, são geminados, solitários e múltiplos radiais de até 6 elementos, sem predominância de nenhum dos tipos, ocorrendo entre 10 e 17 vasos por  $\text{mm}^2$ , diâmetro tangencial com intervalo de variação entre 57 e 76  $\mu\text{m}$ ; fração parede dos elementos de vaso 18,16%; **elemento de vaso**, com placa de perfuração simples, oblíqua e total, muito

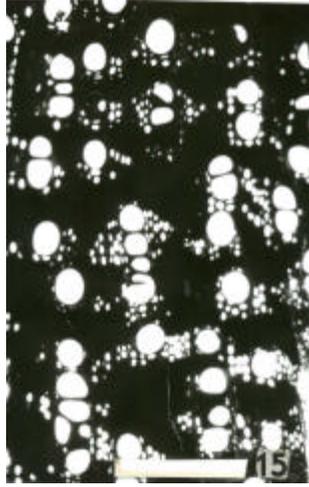


Figura 15  
*Dipteryx alata* - corte transversal onde se observa pouco parênquima axial (partes brancas) contíguas aos vasos. Escala 200  $\mu$ m

*Dipteryx alata* - transversal section showing little axial parenchyma (white parts) attached to the vessels. Scale 200  $\mu$ m.

curtos, 280  $\mu$ m de comprimento médio, variando entre 250 e 290, a largura média foi da ordem de 93  $\mu$ m, variando entre 60 e 120; **pontoações** intervasculares alternas, areoladas, guarnecidas, com abertura inclusa. **Parênquima axial**, escasso, paratraqueal, às vezes apotraqueal; fração parede das células desse parênquima 27%. **Raios**, estratificados, 1-seriados, homogêneos, extremamente baixos, variando entre 140 e 200  $\mu$ m de altura e a largura entre 9 e 14  $\mu$ m, ocorrendo de 6 a 12 raios por mm linear; fração parede das células radiais 26,80%. **Fibras**, abundantes, de parede muito espessa, curtas, com intervalo de variação entre 820 e 1560  $\mu$ m de comprimento.

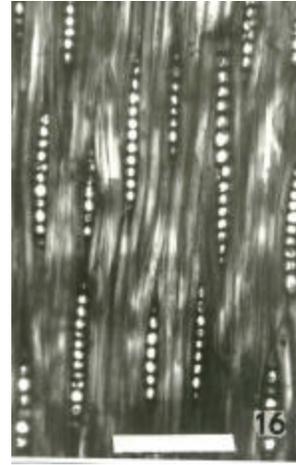


Figura 16  
*Dipteryx alata* - corte tangencial mostrando raios I-seriados (faixas brancas). e fibras (partes escuras). Escala 200  $\mu$ m.

*Dipteryx alata* - tangential section showing striate rays (white strips) and fibers (dark parts) Scale 200  $\mu$ m.

*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Fig. 17 e 18). **Vasos**, predominantemente múltiplos radiais de 3 e 4, elementos, ocorrendo, também, solitários e geminados, cuja ocorrência foi de 2 a 6 vasos por  $\text{mm}^2$ , diâmetro tangencial variando entre 100 e 170  $\mu$ m; fração parede dos elementos de vaso 26%; **elementos de vaso** com apêndices nas duas extremidades, placa de perfuração simples, terminal e total, com 352  $\mu$ m de comprimento médio, variando de 120 e 480; **pontoações** intervasculares alternas, areoladas, guarnecidas, com abertura exclusiva, às vezes exclusiva coalescente. **Parênquima axial**, frequente, paratraqueal, em faixas tangenciais, estreitas ou largas, às vezes terminais;

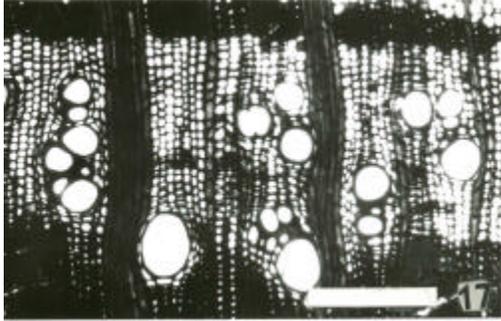


Figura 17

*Hymenaea coubaril* var. *stilbocarpa* – corte transversal mostrando parênquima axial (áreas grandes brancas), dois raios largas (faixas radiais e fibras (demais áreas negras). Escala de 200  $\mu$ m.

*Hymenaea coubaril* var. *stilbocarpa* – transversal section showing axial parenchyma (large white areas) 2 wide rays (radial strips) and fibers (other areas). Scale de 200  $\mu$ m.

fração parede das células desse parênquima 28%. **Raios**, homogêneos, predominam os 2-4 seriados, ocorrendo também 1-seriados, entre 3 e 6 raios por mm linear; a altura variou de 200 a 700  $\mu$ m e largura de 50 a 80  $\mu$ m; fração parede das células radiais 66,66%. **Fibras**, abundantes, de parede espessa, curtas, com intervalo de variação entre 1070 e 1550  $\mu$ m de comprimento.

Paula (1993) estudou *Hymenaea stignocarpa* Hayne e como resultado salienta fração parede da ordem de 72,73%, parênquima axial freqüente, 5 raios por mm linear e 68% de fibra, tendo concluído que essa espécie deve ser utilizada para geração de energia. Comparando a estrutura anatômica de *H. coubaril* var. *stilbocarpa* com a de *H. stignocarpa*, nota-se forte



Figura 18

*Hymenaea coubaril* var. *stilbocarpa* - corte tangencial mostrando raios multiseriados (faixas brancas) e fibras partes negras). Escala de 200  $\mu$ m.

*Hymenaea coubaril* var. *stilbocarpa* - tangential section showing multiseriate rays (white strips) and fibers (dark parts). Scale de 200  $\mu$ m.

semelhança, coincidindo com a mesma indicação. Por outro lado, *H. coubaril* apresenta fração parede da ordem de 61,8% e parênquima axial escasso (Paula, 1980).

Sendo as fibras morfologicamente fusiformes e a fração parede a razão entre duas vezes a espessura da parede sobre o diâmetro total, em qualquer ponto da fibra que aferir a fração parede o resultado é o mesmo, tendo em vista que à medida que se afasta da parte onde o diâmetro é maior, em direção às extremidades, a espessura da parede também diminui na mesma proporção da diminuição do diâmetro. Paula (1993) esclarece que nos cortes transversais as fibras são seccionadas em vários níveis, inclusive nas extremidades, onde o lume é

Tabela 1

Fibras: Parâmetros para análise qualitativa e quantitativa.

*Fibras: Parameters of qualite and quantitative analyses.*

Espécies	%	e (µm)	W (µm)	d (µm)	D (µm)	L (µm)	FP (%)	CR (%)	L/W	IR
<i>Anacardium microcarpum</i>	68	3,45	23	9,10	16,0	998	43,12	56,88	43	2,2
<i>Buchenavia ochroprumna</i>	63	5,06	13	2,50	12,65	1060	80,00	20	81	4,0
<i>Caryocar coriaceium</i>	58	10,35	24	2,30	23,0	2140	90,0	10	89	9,0
<i>Cordia bicolor</i>	42	2,15	23	11,70	16,0	1252	30,18	69,82	54	0,36
<i>Cpoaifera martii</i>	62	5,52	19	5,96	1,0	1187	64,94	30,06	62	1,52
<i>Chomelia parviflora</i>	42	5,29	18	3,42	14,0	1049	75,57	24,47	52	3,10
<i>Dipteryx alata</i>	51	5,75	20	1,50	13	998	88,46	11,54	50	7,66
<i>Hymenaea coubaril</i>	68	4,60	19	3,80	13	1333	70,77	29,23	70	2,42

**e** - espessura da parede; **d** - diâmetro do lume; **W** - largura; **D** - diâmetro total ; **L** - comprimento; **FP** - fração parede; **CR** - coeficiente de rigidez; **L/W** - coeficiente de flexibilidade; **IR** - índice de Runkel; **(µm)** - micrometro

Tabela 2

Densidade básica (k/m<sup>3</sup>).*Specific gravity (kg/m<sup>3</sup>).*

Espécies	Área 1	Área 2	Área 3	Média
<i>Anacardium microcarpum</i>	560	720	760	680
<i>Buchenavia ochroprumna</i>	770	940	1060	923
<i>Caryocar coriaceium</i>	593	875	873	780
<i>Cordia bicolor</i>	201	288	292	260
<i>Cpoaifera martii</i>	676	996	998	980
<i>Chomelia parviflora</i>	696	1010	1024	910
<i>Dipteryx alata</i>	790	1004	1004	930
<i>Hymenaea coubaril</i>	630	957	963	850

bem reduzido, e nas partes onde o lume é maior, em relação ao da parte próxima às extremidades. Nesse sentido, a fração parede é um referencial seguro e subsidiário à qualificação de madeira para geração de energia.

A fração parede das células parenquimatosas e dos elementos de vaso é sempre muito baixa, como se pôde verificar na descrição de cada espécie, em relação ao espaço ocupado por cada célula. Portanto, madeiras ricas em vasos e em células parenquimatosas não devem ser utilizadas

para gerar energia por apresentarem baixo teor de celulose, lignina e hemiceluloses, e conseqüentemente pouca biomassa para sustentar uma combustão duradoura. Ao contrário, madeiras ricas em fibras de fração parede alta, (a partir de 60%) são de boa qualidade para gerar energia (etanol, coke metalúrgico, carvão e lenha). Paula (1985) com base na estrutura anatômica, inclusive na fração parede recomenda 68 espécies para geração de energia, de um total de 120 espécies nativas estudadas.

Tabela 3  
Referenciais quantitativas dos vasos, raios e parênquima axial

*Parameters values of vessels, rays and axial parenquyma.*

ESPÉCIES	Vasos		Raios			PARÊNQUIMA AXIAL
	Diâmetro (µm)	Número (mm <sup>2</sup> )	Altura (µm)	Largura (µm)	Número (mm) linear	
<i>Anacardium microcarpum</i>	172	1,7	329	63	7,4	escasso
<i>Buchenavia ochroprumna</i>	127	2,7	257	23	9,6	pouco
<i>Caryocar coriaceum</i>	177	2,0	2930	33	12,0	escasso
<i>Cordia bicolor</i>	113	3,0	861	70	5,0	frequente
<i>Copaifera martii</i>	156	2,0	465	39	4,7	pouco
<i>Chomelia parviflora</i>	32	162,0	1749	24	2,0	escasso
<i>Dipteryx alata</i>	66	12,7	168	20	9,0	escasso
<i>Hymenaea coubaril</i>	132	3,6	329	45	4,0	frequente

No caso da madeira, o álcool etílico é obtido a partir da celulose e hemiceluloses pelo processo de hidrólise ácida (ácido sulfúrico), e o coque metalúrgico referido a partir da lignina pela técnica de carbonização. Esse coque é um tipo de carvão que substitui o carvão mineral importado - no Brasil, nos altos fornos siderúrgicos que produzem aços especiais. Um hectare de floresta de *Eucalyptus* ssp. com sete anos de idade fornece apenas nove toneladas de coque metalúrgico (Caderno Coalbra, 1983). Madeira de *Eucalyptus* spp. com essa idade está na faixa de madeira leve (até 0,55 g/cm<sup>3</sup>), portanto, com baixo teor de celulose, lignina e hemiceluloses.

Do ponto de vista econômico e ecológico, não é viável explorar madeiras com pouca idade (abaixo de 15 anos) para geração de energia, sejam de *Eucalyptus* ou de espécies nativas, tendo em vista que as árvores aumentam o ritmo do processo de produção de celulose, lignina e hemiceluloses à medida que se tornam mais velhas, refletindo no aumento da densidade (Paula e Cardoso, 1995, Paula e Alves, 1997, Paula 1995). Isso se torna bem claro

quando se analisa a figura 1, pois a madeira da área 1 foi formada quando a árvore tinha pouca idade, logo, a densidade foi mais baixa. Nesse sentido, a idade mínima para o corte de árvores para fins energéticos deveria ser entre 13 e 15 anos.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e analisados, depreende-se que as espécies *Buchenavia ochroprumna* Eichler, *Chomelia parviflora* (M. Arg.) M. Arg., *Copaifera maritii* Hayne, *Caryocar coriaceum* Wittm. *Dipteryx alata* Vog., *Hymenaea courbaril* L. var. e *stilbocarpa* (Hayne) Leilang são auspiciosas para produção de carvão e lenha, portanto, devem ser indicadas em programas de manejo e enriquecimento de maciços florestais energéticos em áreas de cerrado. Por outro lado, *Anacardium microcarpum* Ducke só deve ser utilizada para produção de carvão com idade igual ou superior a 15 anos. Ressalta-se, no entanto, que sendo essas 6 espécies de boa qualidade para produção de energia, especialmente carvão e

lenha, sua utilização efetiva só seria viável do ponto de vista econômico e ecológico se incluídas na formação de grandes maciços florestais heterogêneos sob planos de manejo ecológico de rendimento sustentado, a fim de evitar o extrativismo em alta escala para fins energético. *Cordia bicolor* DC. e *Anacardium microcarpum* Ducke podem ser recomendadas para produção de papel.

### AGRADECIMENTOS

À MARFLORA/MARGUSA pelo apoio financeiro e demonstração de apreço, ao Prof. Dr. José Luiz de Hamburgo Alves da Universidade Federal de Pernambuco/Departamento de Botânica pelo incentivo e sugestões valiosas e ao Eng. Florestal da MARFLORA Nilton Sugimoto pelas facilidades que possibilitaram nossa ida várias vezes à Santa Quitéria.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CADERNOS COALBRA. Álcool e coque da madeira. Brasília. v.3, 1983.
- FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C. Distribuição diamétrica numa faixa de cerrado na fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília-DF. *Acta Brasilica Botanica*, v. 2, p. 85-95, 1988.
- FOELKEL, C.E.; BARRICHELLO, L.E.G. Estudo comparativo da madeira de *Eucalyptus* spp., para produção de celulose sulfato. IPEA, Piracicaba, SP, v. 10, p. 17-37, 1976
- IAWA. List microscop features of hardwood identification. *IAWA Bulletin*. Leiden, v. 10, nº 3, p. 221-259, 1989.
- MEDEIROS, J.X. Avaliação econômico-ecológica da produção de carvão vegetal na bioenergia brasileira. In: May Piter H. *Economia ecológica: aplicações no Brasil*. Rio de Janeiro, Campus, 1995. 179 p.
- NORMAS COPANT. Madeira. Assunção, v. 30:1-19, 1974.
- PAULA, J.E. Madeiras que produzem álcool, carvão coque. *Atualidades*, Brasília, v. 72, p. 31-45, 1980.
- PAULA, J.E. Estudo de madeiras nativas indígenas, visando seu aproveitamento na geração de energia. *Atualidades - CNP*, Brasília, nº 92, p. 13-23, 1985.
- PAULA, J.E. Estudo da estrutura anatômica de madeiras indígenas, visando seu aproveitamento na produção de energia. *Ciência e Cultura*, São Paulo v. 41, nº 4, p. 344-353, 1989.
- PAULA, J.E.; ALVES, J.L.H. Madeiras Nativas - anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília, MOA, 543 p., 1997.
- PAULA, J.E. Estudo anatômico e dendrométrico de *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v 30, nº 1, p. 745-757, 1995.
- PAULA, J.E.; CARDOSO, E.N. Anatomia e dendrometria da madeira de *Pterodon polygalae florus* e *P. pubescens*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v 30, n. 1, p. 15-29, 1995.
- PAULA, J.E. Madeiras da Caatinga úteis para produção de energia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília v. 28, n. 2, p. 153-165, 1993.
- PINHO, R.A. Estudo anatômico do lenho secundário de árvores do cerrado. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 38, p. 113-116, 1966 (Suplemento).
- RULNKEL, R.O.H. Pulp from tropical wood. TAPPI, Hamburgo, v. 35, n. 4, p. 174-178, 1952.
- SATGIYA, S.C. Saessonal variation in the anatomical characteristics of bakain wood (*Melia azedrach* L.) and its suitability for making. *Indian Pulp and Paper*, Calcutta, 5February/March, p. 85-89, 1972.
- SILVA JÚNIOR, M.C.; SILVA, A.F. Distribuição dos diâmetros dos troncos das espécies nativas mais importantes do cerrado na Estação Florestal de Paraopeba (MG). *Acta Brasilica Botanica Brasília*, v. 2, p. 107-126, 1988.