

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica

Morfologia e Anatomia do caule e do sistema
subterrâneo de *Brosimum gaudichaudii* Tréc. (Moraceae)

Dario Martins Palhares de Melo

Brasília, DF
Março de 2004

**Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica**

**Morfologia e Anatomia do caule e do sistema subterrâneo de
Brosimum gaudichaudii Tréc. (Moraceae)**

Dario Martins Palhares de Melo

Orientadora: Prof^a Dr^a. Conceição Eneida dos Santos Silveira

Dissertação apresentada ao Departamento de Botânica do
Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Mestre em Botânica

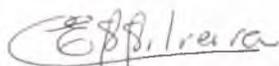
Brasília, DF
Março de 2004

TERMO DE APROVAÇÃO

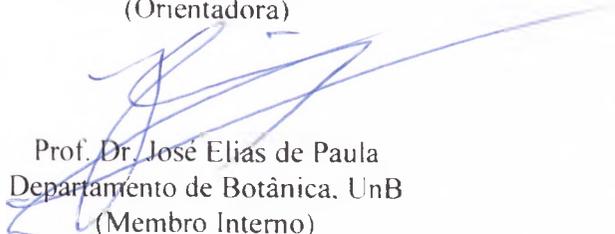
Dario Martins Palhares de Melo

Morfologia e anatomia do caule e do sistema subterrâneo de *Brosimum gaudichaudii* Tréc. (Moraceae)

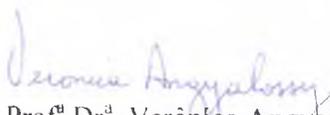
Dissertação Aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Botânica pela seguinte banca examinadora:



Prof.^a Dr.^a Conceição Eneida dos Santos Silveira
Departamento de Botânica, UnB
(Orientadora)



Prof. Dr. José Elias de Paula
Departamento de Botânica, UnB
(Membro Interno)



Prof.^a Dr.^a Verônica Angyalossy
Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, USP
(Membro Externo)



Dr.^a Vera Teresinha Rauber Coradin
Laboratório de Produtos Florestais, IBAMA
(Suplente)

Brasília, 26 de Março de 2004

Dedicatória

Dedico este trabalho ao Bioma Cerrado

Agradecimentos

Os marxistas mais ferrenhos eram contra todo e qualquer direito autoral, por considerarem que toda obra é fruto de um trabalho coletivo. Sendo assim, agradeço a algumas das muitas pessoas que contribuíram para que eu pudesse estar defendendo essa dissertação.

A meus pais, por tudo, absolutamente tudo.

À minha Orientadora, Profa. Eneida, por ter me aberto as portas da Botânica desde a época do PIBIC, pelo excelente relacionamento e pelo exemplo profissional.

Ao Coordenador da Pós-Graduação em Botânica, Prof. Augusto, pelo grande apoio desde o início do curso.

A todos os professores, pelos ensinamentos.

À Profa. Sônia Nair Bão, por ter propiciado acesso ao microscópio eletrônico de varredura.

À Profa. Cláudia Cardoso (UFMS) pelo intercâmbio científico.

Ao meu irmão Luís pelas solicitações no COMUT.

Ao meu cunhado Joaquim pelo suporte fotográfico.

Ao serviço Biosintetica Assistance pelos artigos fornecidos.

A todos os colegas do Mestrado, pela excelente convivência e pela profusa troca de idéias, vivências, dicas, material bibliográfico...

A Igor Marcelo Corrêa da Costa, Íris Almeida dos Santos, Leonardo Gonçalves Noletto e Suziane Margaret Fank de Carvalho, pela participação voluntária no teste de discernimento entre caule e raiz (capítulo 2).

Aos lavradores, Salvador Gomes de Oliveira e Antônio Marques Ferreira, pela tarefa de cavar e de me ensinar a cavar o solo.

Aos técnicos do Laboratório, Aroldicéia Sena Rosa Corrêa e Eli Noronha Neto, e aos estagiários Cristiano e Maria, pela excelente assistência prestada.

À cultura institucional, propícia ao livre trânsito de alunos em todas as unidades e laboratórios da Botânica.

Índice

Resumo	viii
Abstract	ix
Introdução geral	1
Revisão Bibliográfica	
1. Aspectos taxonômicos	
1.1 Família Moraceae.....	2
1.2 Tribo Brosimeae.....	2
1.3 <i>Brosimum gaudichaudii</i> Tréc	
1.3.1 Aspectos morfológicos.....	3
1.3.2 Aspectos anatômicos.....	5
1.3.3 Propagação.....	5
2. Psoraleno.....	6
3. Xilopódio.....	8
4. Anatomia da casca.....	12
5. Anatomia do lenho.....	17

Capítulo 1 – Caracterização eco-morfológica do sistema subterrâneo e do caule de *Brosimum gaudichaudii*

Introdução.....	21
Metodologia.....	22
Resultados.....	23
Discussão e Conclusões.....	26
Figuras.....	31

Capítulo 2 – Anatomia do lenho e da casca

Introdução.....	36
Metodologia.....	36
Resultados.....	38
Lenho.....	38
Casca.....	39
Xilopódio.....	41
Discussão e Conclusões.....	44
Figuras.....	49

Capítulo 3 – Aspectos Morfológicos de Plantas Jovens de *Brosimum gaudichaudii* Produzidas em Condições Alternativas de Cultivo

Introdução.....	58
Metodologia.....	59
Resultados.....	59
Discussão e Conclusões.....	60
Figuras.....	64

Discussão Final.....	66
-----------------------------	-----------

Bibliografia.....	69
--------------------------	-----------

Resumo

Brosimum gaudichaudii Trécul (Moraceae) é o único representante do gênero *Brosimum* na vegetação de cerrado, embora a espécie ocorra também na mata amazônica. Tem sido explorada pela indústria farmacêutica porque ocorre acúmulo significativo, nas raízes, de bergapteno e psoraleno, úteis no tratamento de algumas desordens cutâneas. Entretanto, o caule, as folhas e os frutos e o látex acumulam somente pequenas quantidades dessas substâncias.

Sete indivíduos foram observados quanto a morfologia de parte aérea e parte subterrânea, sendo cinco coletados para estudos anatômicos. Para o plantio e observação de plantas jovens, sementes foram cultivadas, após germinação, em horta, em tubos de PVC contendo terra do cerrado.

Todas as plantas apresentam mais de um caule, sendo um tronco nitidamente mais desenvolvido que os demais. A casca dos troncos e dos ramos é fina, apresenta cor cinza, superfície áspera e não decorticante. O cerne e o alborno são geralmente indistintos, ocasionalmente um pequeno cerne vermelho é evidenciado.

O sistema subterrâneo se compõe de xilopódio e de sistema radicular do tipo pivotante. A casca apresenta tonalidade alaranjada, descamação lamelar, superfície rugosa, odor agradável de óleos aromáticos. A raiz pivotante emite, em média, uma raiz lateral, de longo crescimento horizontal (mais de um metro) a cada 20 cm. Em toda a extensão da raiz pivotante e das secundárias, notam-se radículas.

Látex escorre das cascas e da medula de caules e ramos jovens, escasseia na parte aérea conforme o vegetal prossegue em seu crescimento e desenvolvimento e sempre é abundante no sistema subterrâneo. Não escorre do lenho.

Houve diferença entre a estrutura do lenho de raiz e caule, uma vez que na raiz, tanto o parênquima é mais abundante e as paredes das fibras são mais delgadas. Laticíferos não foram observados no lenho.

O floema geralmente é indistinto entre pérvio e colapsado. Os elementos de tubo crivado, fibras e parênquima axial ocorrem de modo difuso entre os raios. No caule, porém não na raiz, os laticíferos escasseiam junto ao floema recentemente formado.

O xilopódio se compõe de lenho circundado por casca contendo o floema, não havendo floema incluso. O xilopódio apresenta características tanto de raiz como de caule e não acumula amido, ao contrário do que ocorre na raiz.

Nas plantas de oito meses de idade, o xilopódio se evidencia como uma tuberosidade diferenciada na região hipocotiledonar, de onde se continua, obliquamente, uma raiz principal, de cerca de 50 cm de profundidade.

Summary

Brosimum gaudichaudii Tréc. (Moraceae) is the only species of the genus *Brosimum* at the cerrado vegetation, although it also grows in Amazonia forest. It has been explored by pharmaceutical industry because of its great accumulation of bergapten and psoralen, that can be used for treatment of some skin disorders, in the roots. However, stem, leaves, fruits and latex are poor in these substances.

Seven plants were morphologically observed and five of them were sampled for anatomical records. For the observation of young plants, germinated seeds were cultivated in the field in PVC tubes containing soil of cerrado.

All plants presented more than one stem. One of the stem was always more developed than the others. Bark surface is smooth and grey. Heartwood generally indistinctable, but sometimes is red.

Subterranean system is composed by a xylopodium and a long taproot. Bark surface is lamellated, orange and odoriferous. Taproot sprouts at each 20 cm one long secondary root of horizontal growth. On the surface of root system there are lots of radicels.

Latex is abundantly present in root bark, young stem bark and young pith. In older stems, latex is reduced, but it is always abundant in subterranean system.

There was difference between the xylem of root and stem: in the root, parenchyma is more abundant and fibres are thinner. No laticifers were observed in xylem.

Phloem is generally indistinct between pervious and collapsed. Sieve cells, fibers and axial parenchyma occur in a diffuse manner between rays. In stem bark, but not in root bark, laticifers are scarce in newly formed phloem.

Xylopodium is composed by a xylem surrounded by a bark, without included phloem. It presents some characteristics of both stem and root. There is no starch grains, in an opposite manner of root.

In eight-months old plants, xylopodium is defined as a tuberosity in hypocotilar region, from where a 50 cm-deep taproot sprouts obliquely.

Introdução

Brosimum gaudichaudii, conhecida popularmente como mamacadela, foi escolhida para estudo devido ao seu potencial como frutífera e uso corriqueiro em medicamentos industrialmente manufaturados no combate ao vitiligo, como por exemplo o Viticromin®, produzido pela Auad Química (Auad, 1973).

Brosimum gaudichaudii ocorre em todo o Brasil Central, onde há vegetação de cerrado, tanto no campo como cerrado *strictu sensu* e cerradão (Martins, 1998). Embora seja o único representante do gênero no cerrado, a espécie também tem sido encontrada em floresta na pré-amazônia maranhense, conforme material vegetal coletado em Buriticupu (MA), depositado na xiloteca do LPF, do Ibama, em Brasília (*Index Xylariorum* FPBW) e no herbário (*Index herbariorum* MPEG) do Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém (Vera Coradin, comunicação pessoal). No cerrado, em levantamentos fitossociológicos, indivíduos de porte arbóreo foram detectados por Ribeiro *et al.* (1985) somente na fitofisionomia de cerradão, respondendo por um índice de valor de importância de 1,5. Igualmente, Aoki e Santos (1982) detectaram indivíduos arbóreos somente no cerradão ou no cerrado *strictu sensu*, formações fitofisionômicas com maior biomassa acumulada. O índice de valor de importância foi 0,66 no cerradão e 1,05 no *strictu sensu*.

O uso medicinal da planta decorre do grande acúmulo, nas raízes, de bergapteno e psoraleno (Pozetti, 1969). Os frutos acumulam algum bergapteno, mas pouco psoraleno (Pozetti e Bernardi, 1971). Ocasionalmente, novas cumarinas são identificadas (Vilegas *et al.*, 1993; Monteiro, 1998; Vieira *et al.*, 1999.). Os extratos da planta, tanto com solventes polares como com solventes apolares, não mostram atividade antibacteriana *in vitro* (Aguiar *et al.*, 1988), porém inibem a atividade de helmintos parasitas do homem, como *Ancilostoma sp* e *Strongyloides stercoralis* (Pozetti *et al.*, 1976). Não obstante, os extratos demonstram atividade genotóxica em ensaios *in vitro* (Varanda *et al.*, 2002).

Revisão de Literatura

1) Aspectos taxonômicos

1.1) Família Moraceae

A família Moraceae possui 61 gêneros, com mais de 1000 espécies, representadas por árvores, arbustos e algumas ervas, tendo *Morus* (do latim morus, fruto da amoreira) como gênero-tipo. Quase todas as espécies apresentam látex e são tropicais ou subtropicais. Apresentam folhas alternas ou opostas, inteiras ou compostas. Flores muito pequenas, unissexuais, homoclamídeas, com perigônio persistente, ou aclamídeas, reunindo-se em inflorescências globosas ou achatadas, em forma de cálice ou de discos, às vezes de um tipo especial (sicônio) em *Ficus*. Flores masculinas com estames isômeros e opostos aos segmentos do perigônio. Em *Brosimum* há somente um estame. Flores femininas com perigônio rudimentar ou ausente, constituídas por ovário súpero com dois carpelos e um lóculo com um só óvulo. Fruto drupáceo, muitas vezes concrecidos em uma densa e grande infrutescência. É freqüente o desenvolvimento de cristólitos na epiderme das folhas (Ferreira, 1973; Joly, 1975).

1.2) Tribo Brosimeae

A tribo Brosimeae reúne os gêneros *Brosimum*, *Trymatococcus* e *Helianthostylis*. São árvores dióicas ou monóicas, laticíferas, com pêlos uncinados nas partes jovens. Folhas dísticas, pecioladas, venação broquidódroma; estípulas livres ou fundidas, amplexicaules ou não, caducas, na maioria das vezes. Inflorescências bissexuadas ou unissexuadas, geminadas ou solitárias nas axilas das folhas, globosas, hemisféricas, tubulares, cilíndricas ou discóides, pedunculares, com brácteas. Flores masculinas poucas ou numerosas. Perigônio com 4 tépalas, bem desenvolvido ou vestigial, estames de 1 a 4, anteras introrsas deiscentes. Flores femininas únicas ou múltiplas, imersas e fundidas ao receptáculo, ovário ínfero, óvulo subterminal, pêndulo anátropo. Fruto largo, fusionado ao receptáculo,

geralmente carnosos; sementes grandes, testa fina, embrião oblíquo a transverso, cotilédones desenvolvidos, radícula muito curta (Berg, 1972).

O gênero *Brosimum* (do grego brosimós, comestível) se distingue dos outros da mesma tribo pelas espécies dióicas ou, sendo monóicas, por ter flores masculinas com perigônio ausente ou vestigial, 1-3 estames, ausência de pistilódio. Tem por espécie-tipo *Brosimum alicastrum* Swartz, que descreveu o gênero no ano de 1788, baseado em duas espécies descritas na Jamaica: *B. alicastrum* (que também ocorre no Brasil) e *B. spurium*. São árvores, com folhas inteiras, por vezes dentadas, com tricomas globoso-capitados ou oblongo-capitados, estípulas livres ou fusionadas, amplexicaules ou não. Inflorescências bissexuadas ou unissexuadas, subglobosas, hemisféricas, tubulares ou discóides, receptáculo ao início do crescimento recoberto por brácteas; flores masculinas numerosas, perigônio ausente ou, se bem desenvolvido, lobado ou dentado, estames 1-4, anteras extrorsas, pistilódio ausente; flores femininas uma a múltiplas, testa da semente apresentando região espessada, às vezes vascularizada, embrião transverso ou oblíquo, cotilédones simétricos ou não. Pêlos uncinados, mais comuns em indivíduos jovens, estão presentes em folhas, brotos ou inflorescências em todas as espécies, sendo que em algumas espécies nem todos os indivíduos os apresentam (Berg, 1972).

1.3) *Brosimum gaudichaudii* Trécul

1.3.1) Aspectos Morfológicos

Brosimum gaudichaudii é o único representante do gênero na vegetação do cerrado e foi validamente descrito por Trécul em 1847. Com relação ao hábito, Almeida *et al.* (1998) o afirmam como arbusto ou arvoreta de até 4 m de altura, Pio Corrêa (1926), como arbusto grande ou árvore de até 10 m de altura, enquanto Berg (1972) menciona uma altura média de 7 m, sendo registrado um exemplar de 30 m de altura. A época de floração é descrita por Almeida *et al.* (1998) como de junho a novembro, com pico entre agosto e setembro, enquanto Berg (1972) menciona floração ao longo de todo o ano, com pico entre setembro e dezembro. As folhas são glabras na face superior e pubescentes na face inferior, alternas, simples, pecioladas, lâmina foliar coriácea, oblonga, oblongo-lanceolada ou elíptica, ápice

obtusos a levemente acuminados, margens inteiras, por vezes onduladas, por vezes dentadas, nervuras impressas na face ventral e salientes na face dorsal, 9 a 20 pares de nervuras secundárias, nervuras terciárias e quaternárias formando malhas quadrangulares, pecíolos de 3 a 11 mm de comprimento, estípulas de 3 a 10 mm de comprimento. O tamanho da lâmina foliar é muito variável, no mesmo indivíduo podem ocorrer folhas de tamanhos distintos, sendo que as menores folhas ocorrem em ramos floríferos novos. Apresenta inflorescência em glomérulos axilares, congestos, bracteados, pedunculados, com 30 a 100 flores. O receptáculo é protegido por brácteas sésseis, coriáceas, de dorso levemente pubescente. A flor feminina ocupa posição central, as masculinas se dispõem ao redor; todas cobertas por brácteas arredondadas que se tornam persistentes no fruto. A flor masculina é aclamídea, protegida por uma bráctea. O androceu apresenta um só estame, filete muito curto, antera de deiscência rimosa, com lóculos oblíquos. Um segundo estame atrofiado (estaminódio) pode ocorrer. O gineceu apresenta dois estigmas, um estilete, um ovário ínfero, gamocarpelar, unilocular, imerso totalmente no receptáculo comum da inflorescência com apenas 1 óvulo pêndulo (Berg, 1972). O grão de pólen é esferoidal, com dois poros de 2,4 µm de diâmetro, levemente protraídos e circundados por espessamento da superfície, exina de aproximadamente 1,1 µm e estratificação geralmente obscura (Melhem, 1966). Os frutos são agregados bacóides, comestíveis, até 2 cm em diâmetro, alaranjados, globosos, de superfície verrucosa. Cada fruto contém uma semente elipsóide, achatada, de cor esbranquiçada; testa fina e lisa, tegumento duplo e cotilédones crassos e desiguais (Ferreira, 1973; Almeida *et al.*, 1998). Machado *et al.* (1986) e Machado e Parente (1986), em coleta de plantas ocorrentes no Distrito Federal, descrevem sementes de cor marrom claro, superfície lisa, tegumento membranáceo e formato ovalado. A madeira é branco-avermelhada com cerne vermelho, compacta, quebradiça, leve e macia. A casca do tronco é cinzenta, lisa e lactescente. (Pio Corrêa, 1926).

1.3.2) Aspectos anatômicos

No que tange à anatomia de folhas de plantas jovens, Fidelis *et al.* (2000) descrevem estrutura dorsiventral, epiderme abaxial com uma camada de células, apresentando tricomas simples e secretores: mesofilo cujo parênquima paliádico se constitui de uma camada de

células e parênquima lacunoso com duas camadas. Na região da nervura central, há 3 a 4 camadas de colênquima angular. Por sua vez, em plantas crescidas sob baixa luminosidade ($25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), o parênquima paliçádico se torna menos desenvolvido, com maior quantidade de espaços intercelulares, bem como o colênquima apresenta somente 1 camada celular.

Segundo esses mesmos autores, a baixa luminosidade produz alterações, também, na casca do caule, na medida em que promove o desenvolvimento de numerosos tricomas, simples e secretores, o que não ocorre no crescimento sob condições naturais de luminosidade. Ainda, inibe a ocorrência de agrupamentos de esclerênquima e de monocristais em células do parênquima da casca, como sói ocorrer em condições naturais.

A estrutura primária da raiz apresenta células do parênquima cortical com monocristais e endoderme formada por células alongadas transversalmente com nítidas estrias de Caspary. O periciclo é formado por células heterodimensionais com quatro pólos de xilema alternado com floema. À transição para estrutura secundária, forma-se um felogênio subepidermicamente. (Fidelis *et al.*, 2000).

Com relação à anatomia do lenho, Koek-Noorman *et al.* (1984) descrevem vasos difusos, solitários ou múltiplos, ocorrência média de 17 por mm^2 , diâmetro médio de 110 μm , com tilos celulósicos. Parênquima axial paratraqueal aliforme e em faixas confluentes. Fibras libriformes com pontoações simples na face radial. Raios multisseriados de células procumbentes e quadradas. Tubos laticíferos presentes entre os raios.

1.3.3) Propagação

Tanto em condições de laboratório como em condições de campo, Machado *et al* (1986) e Machado e Parente (1986), em coleta de plantas ao redor de Brasília, encontraram germinabilidade de 95%, ocorrendo entre 15 e 37 dias após plantio de sementes intactas. Sales *et al.* (2002), em coleta de plantas do Mato Grosso, realizaram dois ensaios: no primeiro, as sementes foram classificadas em pequenas, médias ou grandes e apresentaram 25% de germinação, hipógea, ocorrida entre 18 e 35 dias de cultivo, após desinfestação com Benomyl e plantio a 30°C e luz direta. Em um segundo ensaio, as sementes cujos tegumentos foram totalmente removidos apresentaram germinação de 85% , ocorrida a

partir do oitavo dia de cultivo, enquanto as sementes com tegumento removido apenas ao redor do hilo apresentaram germinação de 64%, ocorrida a partir do décimo-segundo dia de cultivo, e as sementes com tegumento intacto apresentaram germinação ao redor de 20%, ocorrida a partir do vigésimo-terceiro dia de cultivo.

Martins (1998), Fidelis (1998) e Bucher (2000) dedicaram-se à micropropagação *in vitro*, lançando mão de explantes nodais. Entretanto, os resultados se mostraram muito limitados, não se chegando a uma rotina eficaz de multiplicação.

Psoraleno

Fenol é uma função orgânica definida pela presença de hidroxila ligada a um anel benzênico. No Reino Vegetal, há produção de uma grande variedade de fenóis, que podem ser agrupados em fenóis simples, ácidos fenilcarboxílicos, fenilpropanóides ou derivados flavonas. Comumente, são acumulados como glicosídeos ou açúcares ésteres, depositados nos vacúolos. As vias biossintéticas de fenóis são a via do ácido chiquímico, a via do acetato-mevalonato e a via do acetato-malonato. No conjunto, os fenóis apresentam as seguintes funções: hormonal, estrutural (lignina), fitoalexinas, antimicrobianos e impermeabilização, no caso, a suberina (Machado *et al.*, 1995).

Cumarinas são fenilpropanóides formados pela fusão de um anel benzênico com anel α -pirona. Pelo menos 1300 cumarinas já foram identificadas, a maioria em plantas, porém algumas em fungos e bactérias. Comumente, apresentam um agradável odor de óleo vegetal, entretanto, a conjugação com ácidos ou açúcares, evento metabólico muito comum, retira-lhes a propriedade odorífera. A estrutura molecular da cumarina oferece possibilidade de inúmeras alterações mediante substituições e conjugações, o que explica sua grande diversidade. As cumarinas podem ser classificadas em cumarinas propriamente ditas, isocumarinas, piranocumarinas e furanocumarinas. As cumarinas mostram pequena especificidade de reações químicas. A mesma estrutura pode tanto promover a oxidação de outras substâncias, mediante produção de radicais livres de oxigênio, como agirem como antioxidante, conforme as condições do meio (Hoult e Payá, 1996).

Para as furanocumarinas, pelo menos três modos de reações oxidativas são descritos. No tipo 1, a molécula excitada oxida um componente celular (p. ex, DNA) e doa o elétron ao

oxigênio, formando radical livre. No tipo 2, o radical livre de oxigênio oxida componentes celulares aleatoriamente. O tipo 3 seria a reação desencadeada por luz.

O psoraleno se intercalaria ao DNA no escuro. A incidência de luz ultravioleta promoveria a reação com resíduos de timina. Em todo caso, os substratos que reagem com o psoraleno não se encontram bem definidos. Sabe-se que reagem com fosfolipídios e lecitinas das membranas, que se ligam a resíduos de timina do DNA e que inibem enzimas e ribossomos (Llanoa *et al.*, 2002). A molécula de psoraleno, uma furanocumarina, é estável em uma larga faixa de temperatura, de -20°C a pelo menos 22°C (Cardoso *et al.*, 2002a). Em todo caso, ensaios *in vitro* com bactérias têm demonstrado o potencial mutagênico do psoraleno (Varanda *et al.*, 2001), apesar de não terem apresentado atividade bactericida (Aguiar *et al.*, 1988).

Em pele sadia, a aplicação tópica de psoraleno seguida de exposição à luz ultravioleta promove a formação de manchas escuras de melanina, em um espectro de respostas clínicas que pode chegar a graves queimaduras, caso a exposição luminosa seja prolongada. Não se conhece exatamente o modo de ação para tal efeito. No vitiligo, doença auto-imune de difícil controle que se caracteriza pela perda dos melanócitos cutâneos, o uso de psoraleno seguido de exposição controlada ao Sol ou à luz ultravioleta artificial, tem se mostrado uma opção terapêutica relativamente eficaz (Azambuja, 1981). Tanto no vitiligo, como no linfoma cutâneo e em doenças com hiperfuncionamento do sistema imune (alopécia areata, psoríase, atopia), psoraleno tem sido utilizado. O psoraleno, seguido de aplicação de luz ultravioleta, induz apoptose, exercendo provavelmente uma regulação do sistema imune, por meio da eliminação de leucócitos excessivamente ativados (Cantona *et al.*, 2002). Independentemente de luz, o psoraleno mostra toxicidade hepática em camundongos se administrados via oral em doses altas (Diawara *et al.*, 2000).

A dose oral terapêutica de furanocumarinas é de 0,4 a 0,7 mg/kg de peso corporal seguida de 2 horas de exposição à luz solar ou ultravioleta (UV-A) (Cardoso *et al.*, 2002b). A concentração de psoraleno e bergapteno encontrada no caule e raízes de diversas plantas do gênero *Dorstenia* (Moraceae) varia ao redor de 10mg/g de material vegetal seco (Cardoso *et al.*, 1999), ou seja, mais do que suficiente para a obtenção de quantidades terapêuticas, podendo facilmente chegar a doses tóxicas. Em *Brosimum gaudichaudii*, há somente vestígios de furanocumarinas no caule, nas folhas e no látex. Na raiz, a casca

apresenta uma concentração de psoraleno+bergapteno de 3%, enquanto no lenho, a concentração é de 0,3% (Cláudia Cardoso, comunicação pessoal).

Xilopódio

Os tipos morfológicos vegetais, segundo Raunkiaer (apud Appezzato-da-Glória, 2003), teriam evoluído de modo a buscar a proteção de gemas ou tecidos meristemáticos sob o solo. As plantas poderiam ser classificadas conforme estratégias distintas de proteção de tecido meristemático: as Phanerophytas, cuja estratégia seria a de não-proteção, ou seja, presença de gemas somente na parte aérea, a mais de 50 cm do solo; as Chamaephytas, que manteriam suas gemas próximas ao solo, entre 10 e 50cm de altura; as Geophytas, que abrigam dentro da terra partes que sobrevivem ou as Therophytas, plantas anuais. Contudo, tanto Rawitscher e Rachid (1946) como Rizzini (1964) já discordavam dessa classificação, pela restrita abrangência sobre as variedades mórficas dos sistemas subterrâneos vegetais. De toda forma, Raunkiaer já se mostrara perspicaz na idéia que o solo apresenta menores variações de condições físico-químicas em comparação com a atmosfera, protegendo os tecidos vivos do calor ou do frio intenso, e que esse aspecto favoreceria vegetais que mantivessem capacidade de rebrota a partir de seu sistema subterrâneo.

De fato, Peterson (1975) comenta que desde o século XIX se descreviam plantas com capacidade de regeneração de caules a partir das raízes. O tecido responsável pelo surgimento de novos caules geralmente é o periciclo, ou periciclo e endoderme, tal qual ocorre para as raízes laterais (McCully, 1975). O felogênio, ou calos decorrentes de traumas, podem regenerar brotos aéreos em certas plantas. O controle do brotamento a partir de raízes ocorre por meio de complexo balanço hormonal (concentração e concentrações relativas de auxina, citocinina, giberelinas, etc.), de modo que tanto raízes laterais como brotos aéreos surgem somente a alguma distância do ápice radicular (Bonnet e Torrey, 1966). Comumente, os vegetais com tal capacidade são de difícil erradicação quando de desmatamentos para cultivos agrícolas, indicando a eficácia desse tipo de estratégia (Raju *et al.*, 1966).

Sistemas subterrâneos com capacidade de rebrotamento podem ser de origem caulinar (rizomas, rizóforos, tubérculos, bulbos, cormos, sóboles, "lignotubers"), de origem

radicular (raízes gemíferas) ou, ainda, de origem mista (xilopódios). Sistemas subterrâneos difusos são relativamente comuns em campos e em cerrados, especialmente em espécies arbustivas ou subarbustivas. O diagnóstico organográfico de tais sistemas se mostra complexo (Rizzini e Heringer, 1966). Sobolífero é um adjetivo relativo a plantas lenhosas que, por meio de seu sistema subterrâneo, adotam um modo de crescimento esparso, com vários indivíduos interligados, mas passíveis de vida própria caso separados. Como classificação organográfica, os sistemas subterrâneos difusos podem ser divididos entre sóboles e raízes gemíferas. Em estruturas secundárias, tal distinção é difícil. Os sóboles são caules plagiotrópicos, definidos morfologicamente pela presença de escamas ou gemas na fase jovem ou, anatomicamente, pela ocorrência de medula. A presença de sóboles ou de raízes gemíferas permite a algumas espécies a formação de adensamentos populacionais (Bosela e Ewers, 1997). No caso de *Chrysobalanus icaco*, planta de ecossistemas costeiros (restingas, dunas e tabuleiros), os sóboles formam madeira, aproveitável para a produção de carvão, enquanto a parte aérea tem porte arbustivo, de cerca de 2 m de altura (Paula e Alves, 1997).

O termo xilopódio (do grego *xylo*, madeira + *podio*, pé – pé da madeira) foi cunhado por Lindman¹ (1906), quando da descrição de espécies dos campos do Rio Grande do Sul. Tal vegetação, apesar de submetida a chuvas ao longo de todo o ano, apresenta características xeromórficas. Lindman observou xilopódios em *Amaranthaceae*, *Labiatae*, *Compositae*, *Leguminosae*, dentre outras famílias, como órgão esférico, irregular, às vezes fusiforme ou napiforme, logo abaixo da parte aérea, fortemente lignificado e com consistência de madeira. Relacionou a ocorrência do órgão a condições externas adversas, em particular a solos rasos e pedregosos. Diferenciou claramente o xilopódio dos bulbos de *Liliaceae*, de raízes tuberosas, por terem aspecto mais macio e abundantes reservas e descreveu os “estipes subterrâneos” de algumas *Palmae*. Angely (1959) e Rizzini (1965) mantiveram a definição de xilopódio como uma tuberosidade lenhosa e gemífera, que apresenta capacidade de rebrotamento de ramos a partir de sua porção superior. Em sua ontogenia, surge a partir do espessamento progressivo da região hipocotiledonar e/ou da raiz primária.

¹ A *Vegetação do Rio Grande do Sul* foi escrita por Carl Axel Lindman em sueco, em 1900. Em 1906, Alberto Löfgren a traduziu para o português e a publicou em Porto Alegre. Em 1974, a Editora da USP reeditou a obra em português, integralmente e acrescentou um capítulo de Mário Guimarães Ferri. A obra citada nas Referências Bibliográficas é esta mais recente, de 1974.

Os xilopódios são frequentes em espécies do cerrado brasileiro. Rawitscher e Rachid (1946), Rizzini e Heringer (1962), Rizzini (1963;1965), Menezes *et al* (1969), Figueiredo (1972), Paviani e Haridasan (1977), Paviani(1977; 1978; 1987; 1988), Oliveira e Silva (1993), Appezzato-da-Glória e Estelita (2000) dedicaram-se ao estudo morfológico, anatômico e ontogenético de diversas plantas do cerrado que apresentam xilopódios. Appezzato-da-Glória (2003) publicou uma revisão ampla sobre estudos de sistemas subterrâneos. Segundo a definição de xilopódio, *Vochysia thyrsoidea* o apresenta, apesar de a descrição de Paviani e Haridasan (1977) mencionar um “tubérculo inicial”, da mesma forma que *Pfaffia jubata*, apesar de Menezes *et al* (1969) terem se referido a “região de transição entre caule e raiz”. Siqueira *et al.* (1993) analisaram o sistema subterrâneo de *Pfaffia tuberosa*, planta típica dos campos do Rio Grande do Sul e também hesitaram em usar o termo xilopódio, chamando-o de “zona tuberificada” da raiz.

De modo geral, a maioria das espécies que apresentam xilopódios são herbáceas ou arbustivas, havendo poucas espécies arbóreas, entre as quais *Sterculia striata*, descritas por desenvolverem xilopódios (Rizzini, 1963;1965).

A partir do espessamento hipocótilo-radicular, o xilopódio pode persistir como uma unidade nitidamente diferenciada morfológicamente, no vegetal adulto, ou ter seu crescimento confundido com o da raiz principal, tornando-se indistinto desta. Quando isso ocorre, como em *Annona crassiflora*, *Caryocar brasiliense*, *Kielmeyera coriacea*, *Vochysia thyrsoidea*, recebe a denominação de **tubérculo inicial de árvore**, uma vez que, conforme o crescimento do vegetal se processa, o espessamento e lignificação progressiva da raiz principal o torna indistinto morfológicamente (Appezzato-da-Glória, 2003).

Com relação ao aspecto externo dos xilopódios que persistem distintos no vegetal adulto, há marcada heterogeneidade entre as espécies: *Jacaranda decurrens* apresenta um conspicuo xilopódio em forma de disco (Rawitscher e Rachid, 1946); *Brasilia sickii* tem um formato poligonal irregular, onde não se nota uma raiz pivotante nítida (Paviani, 1977); *Ocimum nudicaule* tem um xilopódio composto de tubérculos concrecidos (Figueiredo, 1972); em *Mimosa multipina*, apresenta-se como um alargamento da porção superior da raiz principal (Rizzini, 1963); *Mandevilla illustris* apresenta um xilopódio pequeno frente a uma conspicua raiz tuberosa (Appezzato-da-Glória e Estelita, 2000); *Pfaffia tuberosa*

apresenta uma raiz gemífera que forma vários xilopódios ao longo de seu desenvolvimento (Siqueira *et al.*, 1993).

Do ponto de vista anatômico, na estrutura adulta, o xilopódio se apresenta semelhante a madeira. A orientação espacial dos elementos condutores pode mostrar-se difusa, havendo interconexões laterais com raízes e brotos aéreos. Quanto à estrutura primária, pode apresentar-se tanto como caule, pela presença de medula, como raiz, conforme o nível de corte. Em *Pfaffia jubata*, e *Pfaffia tuberosa*, que apresentam crescimento secundário anômalo, ocorrem, no xilopódio, feixes vasculares mistos de xilema e floema. Fibras ocorrem em abundância, explicando em parte a natureza pétrea do xilopódio. Nos estádios iniciais de crescimento, fibras gelatinosas ocorrem com muita frequência. Em *Caryocar brasiliensis*, o parênquima do tubérculo inicial tem aspecto aquífero (Labouriau *et al.*, 1954), o que indicaria tratar-se de um local de reserva de água para a planta jovem resistir à época de seca.

A formação do xilopódio é evento intrínseco às espécies que o apresentam. Independentemente de clima ou do substrato do crescimento, o espessamento hipocótilo-radicular se processa. Entretanto, iluminação deficiente impede sua formação, na medida em que provoca o estiolamento da plântula. Solos excessivamente compactados não impedem a formação do xilopódio, contudo, alteram o crescimento das raízes axiais, que passam a se desenvolver horizontalmente (Rizzini, 1965).

No cerrado, o xilopódio parece uma estratégia bastante eficaz de subsistência frente ao fogo, na medida em que permite à planta rebrotar após queima da parte aérea. Entretanto, o termo xilopódio tem sido usado tipicamente no Brasil. Na Austrália, onde há vegetações igualmente submetidas a fogo recorrente natural, regiões tuberosas semelhantes aos xilopódios são eventualmente chamados, meramente, de “root crown” - coroa da raiz (Bowen e Pate, 1993). Os “lignotubers” se caracterizam por apresentarem gemas epicórmicas, enquanto os xilopódios apresentam gemas de origem endógena (Apezada-Glória, 2003). Na África do Sul, xilopódios têm sido descritos como “woody rootstocks” (raízes lenhosas) ou, meramente, rizomas. Xilopódios têm sido demonstrados inclusive em vegetações de clima frio de altas montanhas, embora quem descrevesse tais espécies não utilizasse o termo (Rizzini, 1965). Mesmo no Brasil, há certa hesitação no uso

do termo, havendo autores que criam sinonímias, como rizoma napiforme, rizoma lignificado, raízes espessadas, tubérculos policéfalos, etc. (Rizzini e Heringer, 1961).

Os xilopódios se distinguem de outros órgãos tuberosos pela ausência, ou escassez, de reservas ergásticas no parênquima; pelo caráter fortemente lignificado, e por sua ontogenia. (Rizzini e Heringer, 1961), devendo ser diferenciados, morfológica e anatomicamente, de lignotubers, sóboles ou outros órgãos subterrâneos com grande capacidade de rebrotamento.

Anatomia da casca

No vegetal em crescimento secundário, a casca é a região externa ao câmbio vascular. Apresenta duas funções que lhe são inerentes: a de transportar fotossintetizados a de relacionar o corpo vegetal com o ambiente (Raven *et al.*, 1992). A estrutura da casca permite-lhe exercer outras funções: reserva de material ergástico, sustentação mecânica do vegetal, aeração, fotossíntese, no caso de cascas jovens e verdes (Roth, 1981).

A organização da casca é complexa e se relaciona à variedade de funções por ela exercida. Toda casca apresenta floema e periderme, sendo que as seguintes subcamadas de tecido podem ser encontradas: floema condutor, floema colapsado, córtex (resquícios do corpo primário), periderme e ritidoma. Camadas acessórias podem ser evidenciadas conforme a espécie, como em *Azima tetracantha*, onde o floema colapsado apresenta duas subcamadas distintas, uma desprovida de fibras e a outra onde a lignificação acomete praticamente todas as células (Outer e Veenendaal, 1981). Três tecidos meristemáticos tomam parte na origem e formação da casca: o câmbio vascular, o felogênio e o meristema de dilatação (Junikka, 1994).

Os tipos celulares que compõem a casca são: elementos de tubo crivado e suas células companheiras; parênquima, que no floema secundário é organizado em parênquima radial e parênquima axial; esclerênquima; colênquima (em cascas jovens) e células secretoras (Trockenbrodt, 1991; Paula e Alves, 1997).

Os tubos crivados do floema conduzem os fotossintetizados para todas as partes da planta. São compostos de elementos de tubo crivado conectados, com seus protoplastos em contiguidade, havendo comumente anastomoses entre tubos crivados adjacentes. O padrão

das anastomoses dos tubos crivados costuma variar ao longo de todo o caule (Aloni e Sachs, 1973), refletindo, inclusive, o ciclo climático anual ou as condições de luminosidade a que a planta está submetida durante seu crescimento ((Aloni e Peterson, 1990).

Os elementos de tubo crivado são células vivas, porém anucleadas. Caracterizam-se por apresentarem áreas crivadas, tanto nas paredes laterais como nas paredes terminais. As áreas crivadas apresentam poros que colocam o protoplasto de um dado elemento de tubo crivado em contigüidade com células ontogeneticamente relacionadas: células companheiras, células parenquimáticas ou outros elementos de tubo crivado (Srivastava, 1969). À semelhança do que ocorre nos elementos de vaso do lenho, intrusão de parte das células adjacentes ao elemento de tubo crivado podem ocorrer, recebendo a denominação de tilosóides (Roth, 1981). O termo placa crivada é mais específico e se refere às paredes terminais dos elementos de tubo crivado. A placa crivada pode apresentar somente uma área crivada, sendo denominada placa crivada simples, ou várias áreas crivadas, sendo denominada placa crivada composta. As placas crivadas compostas podem ser escalariformes ou reticuladas, conforme a disposição de suas áreas crivadas (Esau, 1969).

Os poros das áreas crivadas caracterizam-se por seus depósitos de calose, um polímero de glicose, e por apresentarem um material proteico, a proteína P, que se apresenta comumente à microscopia eletrônica como filamentos atravessando-os (Esau, 1969).

A calose apresenta uma reação de fluorescência quando corada com azul de anilina. Azul de resorcina e lacmóide reagem também com calose, evidenciando-a ao microscópio ótico. A função da calose ainda não é bem esclarecida. O depósito desse açúcar não é inerte. Como exemplo, em *Vitis vinifera*, durante a hibernação, a calose oblitera os poros das áreas crivadas. Quando a planta sai do estado de dormência, a calose é digerida, desobstruindo os poros. O depósito de calose ocorre de forma simétrica entre os dois lados dos poros das áreas crivadas das paredes terminais, enquanto nos poros das áreas crivadas laterais, a calose se deposita preferencialmente no lado do elemento de tubo crivado. Açúcares similares à calose são encontrados em células parenquimáticas, grãos de pólen e laticíferos (Esau, 1969).

Os elementos de tubo crivado plenamente diferenciados apresentam parede celulósica não lignificada. Em espécies cujo espessamento seja superior a 1 micrometro, pode-se notar uma camada nacarada na parede do elemento de tubo crivado, assim denominada porque

nas primeiras plantas em que foi identificada se mostra como uma região com brilho semelhante ao nácar e que pouco se cora por meios usualmente empregados. Porém, em um mesmo indivíduo, nem todos os elementos de tubo crivado necessariamente apresentam a camada nacarada (Evert, 1963).

Nas angiospermas, cada elemento de tubo crivado se relaciona intimamente a uma ou mais células companheiras. Cada célula companheira, porém, relaciona-se somente a um elemento de tubo crivado. A célula companheira apresenta núcleo e se conecta ao elemento de tubo crivado por plasmodesmos (Esau, 1969).

Os tubos crivados exercem sua função durante um período variável conforme a espécie vegetal, ao final do qual apresentam sinais de colapso. Em monocotiledôneas, os tubos crivados comumente permanecem transportando fotoassimilados por vários anos, enquanto na casca de dicotiledôneas lenhosas de clima temperado geralmente sofrem colapso após um ou dois anos de atividade (Parthasarathy, 1975). Os elementos de tubo crivado naturalmente colapsados apresentam características semelhantes aos que se colapsaram em decorrência de agressão à casca. Uma seqüência de eventos seria: 1) colapso parcial do elemento de tubo crivado, em decorrência da perda da pressão hidrostática positiva; 2) acúmulo de proteína-P; 3) acúmulo de calose nas placas crivadas e 4) obliteração das placas crivadas pelo depósito de calose e aglutinação dos filamentos proteicos. Esse processo dura geralmente apenas alguns minutos após trauma mecânico (Crafts e Crisp, 1971). Associado a essa seqüência de eventos, a microscopia eletrônica revela também degeneração das células companheiras dos elementos de tubo crivado colapsados (Lawton e Newman, 1979).

A produção de xilema e de floema secundários pelo câmbio vascular ocorre de forma harmônica e sincronizada. Assim como no lenho, alguns vegetais apresentam anéis de crescimento bem delimitados na casca. Conforme ocorra o crescimento em espessura do corpo vegetal, os tecidos da casca vão sendo empurrados para fora. Dado que o tecido inicial seja um anel com determinadas dimensões, o crescimento em diâmetro esgarça-o, de modo que tendem a ocorrer rupturas. O meristema de dilatação, geralmente presente nos raios, produz novas células, o que aumenta o diâmetro da camada de tecido, acomodando-a (Whitmore, 1962). Tanto os raios podem sofrer dilatação como o parênquima axial pode ser

acrescido de novas células (Troockenbrodt, 1990). A compressão exercida pelo crescimento explicaria em parte o colapso do floema mais antigo.

A função de isolamento do corpo vegetal é exercida pela periderme, formada a partir do felogênio, que produz felema (ou súber) para fora e feloderme para dentro. Nem sempre, porém, tais camadas são nítidas (Archer e VanWyk, 1993). Alguns vegetais formam novos felogênios sucessivamente em camadas mais internas da casca. As novas peridermes originadas isolam o tecido vegetal situado externamente, que se torna uma massa de células mortas, o ritidoma, geralmente fissurado e de superfície irregular em função do crescimento em diâmetro do vegetal. Outras plantas apresentam regiões especializadas na periderme, as lenticelas, passíveis de trocas gasosas (Esau, 1984).

A formação da periderme difere, de modo geral, entre caule e raiz. Com relação ao corpo primário do vegetal, no caule, o felogênio geralmente se diferencia abaixo da epiderme. Como consequência, o córtex primário é mantido na casca. À medida que ocorre o crescimento em diâmetro, o córtex primário vai se evidenciando como aglomerados de resquícios do corpo primário. Caso novos felogênios se diferenciem em camadas mais internas da casca, os resquícios de córtex podem ser descamados. Na raiz, o felogênio geralmente se diferencia na região do periciclo, e conforme ocorre o crescimento em diâmetro do órgão, o córtex primário e a epiderme são descamados. Dessa forma, a estrutura da casca pode diferir em um mesmo indivíduo conforme se analise um ramo jovem, uma região mais antiga do tronco ou uma raiz (Raven *et al.*, 1992).

É grande a variabilidade da casca no reino vegetal. Em algumas plantas, a transição entre floema condutor e floema colapsado é gradual, enquanto em outras há marcada diferença entre as duas camadas. Além disso, células secretoras, disposição e tipos de fibras, presença de idioblastos ou células de reserva são elementos peculiares a determinados táxons. (Whitmore, 1962; Roth, 1969; Esau 1969, 1984; Cutter, 1987; Troockenbrodt, 1990; Junikka, 1994; Raven *et al.*, 1995; Paula e Alves, 1997).

Quando a casca é danificada, a periderme apresenta prontas respostas para o restabelecimento do isolamento do corpo vegetal em relação ao ambiente. Experimentalmente, pequenas lesões ao nível da periderme provocam a seguinte sequência de eventos: primeiramente, as camadas celulares abaixo da lesão rapidamente dessecam, a uma profundidade variável, pouco menos de 1mm. Abaixo das camadas dessecadas, as

células parenquimáticas iniciam processo de lignificação, com intenso depósito de substâncias fenólicas, inclusive suberina, formando uma camada com espessura entre 200 e 500 µm. Por fim, um novo felogênio se diferencia abaixo da camada lignificada, restabelecendo a continuidade desse tecido meristemático (Biggs, 1985).

A nomenclatura relacionada à casca varia muito na literatura. Conforme o grupo taxonômico analisado, certos termos foram utilizados. Assim, o que descrevesse e diferenciasse a casca de um determinado gênero ou família poderia não se aplicar a outros. Junikka (1994) reviu termos em inglês e ofereceu uma listagem mais precisa para descrições morfológicas da casca, desaconselhando termos redundantes ou desnecessariamente rebuscados. Seguindo a tendência iniciada por Trockenbrodt (1990), os termos “casca interna”, “casca média” e “casca externa”, usados por Van Wyk (1985), cederam lugar à concepção da casca quanto às subcamadas do floema e da periderme. O termo ritidoma tomou o lugar de outras palavras que designavam estruturas presentes somente em certos vegetais, geralmente com aproveitamento econômico. Termos como “funcionante” ou “ativo” foram postos em desuso para descrever as camadas de floema, pelo argumento que a observação anatômica diz respeito diretamente à forma, e não à função e que apesar do colapso dos elementos de tubo crivado, o tecido ao redor continua apresentando atividade metabólica. De modo geral, as sistematizações propostas têm sido razoavelmente bem aceitas, com críticas pontuais, como as de Lev-Yadun (1991), que enfatiza estruturas menos comuns, como as células secretoras.

De modo geral, o estudo anatômico combinado do lenho e da casca pode fornecer subsídios taxonômicos. Contudo, em plantas muito próximas, como *Buchenavia* sp. e *Terminalia* sp. (Combretaceae), o padrão anatômico pode ser muito similar, pouco contribuindo para a distinção taxonômica (Angyalossy-Alfonso e Richter, 1991).

Em língua portuguesa, uma recente padronização de termos de anatomia da casca foi liderada pelo botânico alemão Hans Richter (Richter *et al.*, 1996). As camadas de floema foram traduzidas do inglês como colapsadas ou não-colapsadas. Tal terminologia tem o inconveniente de nomear o esperado em função do inesperado, ou seja, o esperado seria que o floema estivesse não colapsado, ou seja, vivo, ou seja, pérvio. O normal do floema é ser pérvio, para atender às suas funções condutoras. Não obstante, Costa *et al.* (1997), que tomaram parte na padronização do vocabulário em português junto com Richter,

reconheceram em diversas cascas de leguminosas tropicais que nem sempre a camada colapsada de floema é nítida. Assim, o essencial é reconhecer a sempre existente camada de floema pérvio, doravante denominada floema condutor (Kalalite *et al*, 2003), em contraposição a uma eventual camada de tubos crivados colapsados, o floema colapsado (ou não condutor).

Em Moraceae, comumente a casca do caule apresenta pouco esclerênquima, raios alargados, em forma de funil, uma única camada de periderme e laticíferos (Roth, 1969). O floema primário se diferencia contiguamente ao córtex. A primeira periderme surge logo abaixo da epiderme; as camadas subsequentes de periderme surgem em sequência no córtex, depois na região do floema primário, por último na região do floema secundário. Tipicamente, as células precursoras do floema sofrem divisões anticlinais, resultando em elementos pequenos de tubo crivado, com paredes terminais transversas a levemente oblíquas, com placa crivada simples (Esau, 1969).

No gênero *Morus*, a camada nacarada é indistinta ao microscópio óptico. São comuns agrupamentos de esclereídeos na casca. Em *Morus rubra*, definem-se claramente anéis de crescimento na casca, evidenciados por faixas de parênquima axial. A dilatação da casca ocorre predominantemente por crescimento do parênquima axial. Já em *Morus alba*, os elementos de tubo crivado colapsados passam por evidente processo de lignificação (Esau, 1969). No gênero *Brosimum*, a casca se caracteriza por escassez de tecido esclerenquimático, distribuição difusa dos elementos de tubo crivado, periderme duradoura, feloderme espessa, com ausência de ritidoma. O tecido de dilatação dos raios se confunde com o da periderme. Laticíferos ocorrem em profusão. Reservas podem ser abundantes (Roth, 1981).

Anatomia do lenho

Angely (1959) define xilema como os vasos lenhosos que transportam a seiva bruta, enquanto lenho, como o conjunto de vasos lenhosos, fibras e parênquima, porém faz a ressalva que os termos lenho e xilema são muito comumente empregados como sinônimos.

Segundo Paula e Alves (1997), o termo madeira pode ter as seguintes acepções: uma (conceito anatômico), a de ser todo tecido vegetal localizado internamente à zona cambial

(em dicotiledôneas ou gimnospermas) ou ao tecido formado pelo difuso meristema secundário de espessamento (em monocotiledôneas); outra (conceito econômico), a de ser a parte dos troncos ou galhos a partir dos quais se obtêm produtos de valor econômico, como para construção, carvão, papel, energia, etc. De acordo com esta última acepção, nem todo lenho pode ser denominado madeira, mas toda madeira é tecido lenhoso.

A madeira apresenta propriedades físicas capazes de conjugar características antagonicas: resistência e deformabilidade. Do ponto de vista químico, as células vegetais são essencialmente compostos de carbono, elemento que consegue melhor conjugar tais antagonismos que blocos maciços de metal. O lenho tem estrutura porosa, com isso, os limites de elasticidade e ruptura coincidem, ao contrário do que ocorre com blocos metálicos. A organização axial, como vistas em cortes anatômicos tangenciais, com parênquima radial formando fusos, é uma excelente solução geométrica para conjugar leveza, resistência à tração e à torção, ou seja, máxima resistência com o mínimo peso. É grande, no lenho, a resistência à tração e à torção, porém, a resistência à compressão é menor. No crescimento em espessura do corpo vegetal, o processo de adição de novas células do câmbio gera, nas regiões mais externas do caule, forças de tração, enquanto o cerne é mais solicitado à compressão. Tal propriedade atende satisfatoriamente para resistir aos ventos, que são as principais intempéries físicas a que as árvores têm de resistir. Por sua vez, tal fato indica claramente que as propriedades físicas da madeira podem diferir conforme se tomem porções do cerne ou do alborno do vegetal: enquanto o cerne terá otimizada a capacidade de compressão, o alborno tenderá mais a quebras e torções quando processado (Vasconcelos, 2000).

Os tipos celulares do lenho são: elementos de vasos, fibras, traqueídes, fibrotraqueídes (em gimnospermas e algumas dicotiledôneas), células parenquimatosas, que formam o parênquima axial e o parênquima radial. O parênquima radial está sempre presente, ainda que escasso, enquanto algumas espécies carecem de parênquima axial. Em algumas espécies, estruturas secretoras, como canais resiníferos ou laticíferos, podem estar presentes no lenho (Paula e Alves, 1997).

Para o uso adequado dos produtos derivados do lenho, é necessária a correta identificação da espécie vegetal. Muito comumente, espécies muito distintas apresentam estruturas gerais do lenho semelhantes, de modo que as características macroscópicas e

microscópicas do lenho se prezam melhor à identificação do vegetal quando se tem alguma suspeita diagnóstica, ou seja, quando se quer definir se uma dada amostra de lenho pertença a determinada espécie. Entretanto, em algumas espécies onde características incomuns ocorram, como presença de células de raios com perfurações (Ceccantini e Angyalossy-Alfonso, 2000) ou tecidos secretores, a observação anatômica permite uma suspeita diagnóstica. De modo geral, a caracterização do lenho sem auxílio de lentes se baseia em caracteres organolépticos como brilho, cor, odor, sabor, em propriedades físicas, como densidade, dureza, tração, flexão e em caracteres anatômicos que porventura sejam perceptíveis a olho nu ou, no máximo, com auxílio de lupa de aumento de 10x (Wheeler e Baas, 1998). A nomenclatura de termos anatômicos do lenho tem sido sistematicamente padronizada e revista, sendo a revisão mais recente datada de 1989 (IAWA Committee, 1989).

Em relação ao corpo primário das dicotiledôneas, a formação do lenho difere entre raiz e caule. Na raiz, delimita-se um cilindro vascular, revestido por periciclo e endoderme, onde o metaxilema diferencia-se internamente ao protoxilema (diferenciação endarca). A partir do periciclo e da endoderme, diferencia-se o câmbio vascular, responsável pelo crescimento secundário da raiz. No caule, o tecido vascular, ao se diferenciar, forma uma medula parenquimática. O metaxilema forma-se externamente ao protoxilema. Como resultado, caule e raiz em crescimento secundário diferem quanto aos resquícios do corpo primário: no caule, ocorre a medula; na raiz, um tecido vascular compacto (Esau, 1965, 1984; Raven, 1992).

A organização geral do lenho do caule é a mesma da raiz, embora alguns detalhes possam ser diferentes. Nas raízes, os elementos de vaso são comumente mais largos e mais compridos que no caule. Em *Styrax camporium*, as placas de perfuração são simples na raiz, porém múltiplas no caule (Machado *et al.*, 1997). Em *Copaifera langsdorfii*, ocorrem, conforme a planta tenha se desenvolvido em cerradão, vasos com maior diâmetro tangencial e maior quantidade de fibras gelatinosas em comparação com plantas que tenham se desenvolvido em floresta (Marcati *et al.*, 2001). Da mesma forma, as densidades de caule e raiz de espécies arbóreas tendem a ser semelhantes, como em *Pterodon* spp. (Paula e Cardoso, 1995), porém em *Annona glabra* a raiz é muito menos densa que o caule (Heringer e Paula, 1974).

Em Moraceae, a anatomia do lenho sugere tratar-se de uma família evoluída na escala filogenética, com elementos de vaso pequenos, curtos, de parede delgada, placa de perfuração simples, pontoações alternas, distribuição difusa, solitários e múltiplos, com predomínio de solitários, com ocorrência frequente de tilos celulósicos. Em espécies que apresentam tilos esclerosados, os elementos de vaso e as fibras são de parede espessada. A madeira costuma ser leve, onde anéis de crescimento são pouco distintos. O parênquima axial é do tipo paratraqueal, aliforme ou confluyente. Os raios são heterogêneos, de altura entre 1 e 190 células e largura de 1 a 35 células. Laticíferos ocorrem no lenho secundário de algumas espécies, apresentando nitidamente paredes delgadas e conectando-se aos laticíferos da medula e da casca (Tippo, 1937; Paula e Alves, 1997).

Em diversas espécies amazônicas do gênero *Brosimum*, foi evidenciado que há marcada diferença no que concerne à organização do parênquima axial. Laticíferos puderam ser visualizados entre os raios de diversas espécies (Fedalto *et al*, 1986). O caule de *Brosimum gaudichaudii* foi estudado por Koek-Noorman *et al* (1984) em uma revisão taxonômica e mostrou apresentar vasos isolados ou múltiplos, com ocorrência de tilos celulósicos; parênquima axial aliforme e confluyente; raios heterogêneos; elementos de vaso com placa de perfuração simples, pontoações areoladas alternas.

Capítulo 1 – Caracterização eco-morfológica do sistema subterrâneo e do caule de *Brosimum gaudichaudii*.

Introdução

Brosimum gaudichaudii Trécul é uma planta sobre a qual recai interesse industrial, na medida em que ocorre acúmulo significativo, nas raízes, de bergapteno e psoraleno, úteis no tratamento de algumas desordens cutâneas, como o vitiligo, a psoríase, o linfoma cutâneo, entre outras (Cardoso, 1999). Entretanto, o caule, as folhas (Cláudia Cardoso, comunicação pessoal) e os frutos (Pozetti e Bernardi, 1971) acumulam somente pequenas quantidades de tais princípios ativos.

A espécie é encontrada tanto em cerrado como na floresta amazônica, porém, é o único representante do gênero *Brosimum* na vegetação do cerrado e foi descrita validamente por Trécul em 1847. Com relação ao hábito, Almeida *et al.* (1998) o descrevem como arbusto ou arvoreta de até 4 m de altura; Pio Corrêa (1926), como arbusto grande ou árvore de até 10 m de altura, enquanto Berg (1972) menciona uma altura média de 7 m, sendo registrado um exemplar de 30 m de altura.

Pio Corrêa (1926) descreve a madeira como branco-avermelhada com cerne vermelho, compacta, quebradiça, leve e macia. A casca do tronco é cinzenta, lisa e lactescente. Prendergast (2002) recorda que no passado, algumas plantas da família Moraceae foram usadas na produção de papel de boa qualidade.

Na descrição da espécie, os órgãos aéreos foram bem detalhados (vide Revisão de Literatura), porém o sistema subterrâneo, justamente a fração de interesse medicinal, encontra-se pouco abordado na literatura consultada.

O objetivo deste capítulo é a descrição comparativa do caule e do sistema subterrâneo de *Brosimum gaudichaudii*.

Metodologia

Em agosto de 2002, em uma área de cerrado em Planaltina-DF (Rodovia DF-205, km 79), vários indivíduos de *Brosimum gaudichaudii* em floração ou frutificação foram marcados e ramos foram colhidos para confecção de exsicatas. Quatro plantas foram coletadas subsequentemente, em dezembro de 2002 (planta 1), fevereiro de 2003 (planta 2), abril de 2003 (planta 3), e agosto de 2003 (planta 4), sendo que exsicatas das duas últimas foram feitas quando da coleta, por estarem florescendo. Para a coleta do sistema subterrâneo, procurou-se chegar o mais próximo possível do ápice da raiz principal.

O material coletado foi submetido a estudos anatômicos e histoquímicos (capítulo 2). Amostras foram enviadas à Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, sob a responsabilidade da Professora Cláudia Andrea Cardoso, para testes bioquímicos (vide Psoraleno).

Complementando a descrição morfológica, outros três indivíduos de outras áreas de cerrado foram incluídos no estudo: um indivíduo de porte arbóreo com três ramificações na base, bem desenvolvidas, das quais uma foi coletada, e a exsicata foi feita com material da floração de junho de 2003 (planta 5); um indivíduo com várias ramificações, havendo duas que sofreram queimadas (planta 6) e um indivíduo de porte arbóreo do jardim do Laboratório de Termobiologia da Universidade de Brasília (planta 7). Nesses casos, procedeu-se à escavação somente dos primeiros trinta centímetros de profundidade, para observação do xilopódio, sendo que após terem sido fotografadas, o buraco foi tapado com mesma terra removida.

As exsicatas-testemunhas foram depositadas no herbário UB sob os números de tombo 12050 (planta 1), 12051 (planta 2), 12052 (planta 3), 13190 (planta 4), 13191 (planta 5). Amostras de madeira da planta 5 foram depositadas na xiloteca do Laboratório de Anatomia Vegetal da UnB sob o número 626 e na xiloteca do LPF do IBAMA, Index Xylariorum FPBW, sob número de tombo 4492.

Do lenho da raiz e do caule foram determinadas a densidade básica, a densidade seca e o índice entre o peso da amostra saturada e o peso da amostra seca. A densidade básica foi determinada pela razão do peso constante da amostra seca em estufa a 105 °C sobre o

volume da mesma amostra saturada (peso constante). A densidade seca foi determinada pela razão do peso da amostra seca sobre o volume da mesma amostra seca. (Paula e Alves, 1997; Ibama, 1997). Para fins de padronização, na raiz, as medidas foram feitas ao nível do terço médio. Da parte aérea, foram utilizados fragmentos do caule mais desenvolvido de cada planta, coletados a 10 cm acima do solo. No caso da planta 5, as medidas foram feitas no alburno, cerne e ramo jovem. Para comparação estatística, foi utilizado o teste t de Student com amostras pareadas (Beiguelman, 1988). A acuidade da amostra foi calculada conforme Eckblad (1991).

A documentação fotográfica foi feita mediante câmera digital Sony CyberShot 4,0 megapíxeis, sendo as imagens processadas pelos programas Microsoft Photo Editor, MGI PhotoSuite e Word para Windows.

Resultados

Todas as plantas apresentam mais de um caule, resultantes de brotamentos do xilopódio, variando de três a dez, sendo um tronco nitidamente mais desenvolvido que os demais. Na planta 6, essa característica é muito evidenciada, por apresentar um tronco bem desenvolvido, de porte arbóreo; um segundo caule, de porte subarborescente e três pequenos caules escandentes (figura 1). A planta 5, contudo, apresentava os três troncos em estágios semelhantes de desenvolvimento (figura 2). Os caules dos demais indivíduos, de porte arbustivo, são escandentes. Quanto mais desenvolvidos, menos flexíveis são os caules. Nas plantas de porte arbóreo, os ramos são flexuosos (figuras 3).

A casca dos troncos e dos ramos é fina, apresenta cor cinza, superfície áspera e não decorticante. O lenho é de coloração bege, insípido, inodoro, grã direita, textura fina, apresentando anéis de crescimento. Cerne vermelho, distinto do alburno, foi evidenciado somente na planta 5, ainda assim, apenas até a altura aproximada de um metro.

No tronco da planta 5, havia pouco látex na casca e ausência no lenho (figura 4). Havia látex branco abundante nas cascas de indivíduos jovens, na medula de ramos e de caules jovens (figura 5) e também na casca de toda a extensão do sistema subterrâneo (figura 6).

Após alguns meses de armazenagem em ambiente seco e sombreado, a casca do caules se contrai, destacando-se do lenho, porém, na raiz, a casca permanece firmemente unida (figuras 7 e 8).

O sistema subterrâneo se compõe de xilopódio globoso e de sistema radicular do tipo pivotante (figuras 9 a 11). A casca desse sistema apresenta tonalidade alaranjada, descamação lamelar, superfície rugosa, odor agradável de óleos aromáticos, mas que se torna enjoativo se a exposição for prolongada ou se houver excesso de material vegetal em recinto fechado.

O xilopódio, quando cortado transversalmente, evidencia a enxertia natural como regiões correspondentes aos caules com as respectivas medulas, originando uma estrutura de união dos vários caules em meio a um tecido muito lignificado (figuras 12 e 13).

O sistema radicular se compõe de uma raiz pivotante, que emite, a cada 20 cm, em média, uma raiz lateral, de longo crescimento horizontal (mais de um metro), sendo que cada raiz lateral se desenvolve em uma direção diferente. Em toda a extensão da raiz pivotante e das secundárias, notam-se radículas (figura 14). A raiz pivotante pode terminar em bifurcação ou trifurcação de raízes secundárias, que passam a se desenvolver horizontalmente, de sorte que não foi possível atingir o ápice em nenhuma das plantas.

As plantas 1 e 4 apresentavam uma raiz pivotante reta, enquanto as plantas 2 e 3, com sinais de parasitismo no sistema subterrâneo, apresentavam raiz pivotante com tortuosidades. Uma das raízes secundárias da planta 2 formou uma tortuosidade em forma de nó, assemelhando-se ao encontrado nos troncos de árvores do cerrado. A planta 3 estava próxima de outros dois espécimes de *B. gaudichaudii*, distando 63 cm de um e 80 cm de outro, não tendo sido evidenciada conexão entre elas por meio do sistema subterrâneo (figuras 15 a 23).

Para a planta 5, a densidade seca do cerne, alborno e do ramo foi, respectivamente, 0,93; 0,92; 0,53 g/cm³, enquanto a densidade básica foi de 0,56; 0,55; 0,45 g/cm³ e o índice peso saturado/peso seco, 2,05; 1,95; 2,09. A tabela 1 mostra os resultados biométricos mais relevantes de cada planta incluída no estudo. A tabela 2 mostra as médias e desvios-padrão da razão entre o peso da amostra saturada e o peso da amostra seca, da densidade básica, da densidade seca e os resultados estatísticos. A acuidade amostral revela margem de erro de aproximadamente 55%.

Tabela 1: Dados quantitativos morfológicos de raiz, caule e xilopódio de cada espécime estudado de *B. gaudichaudii*.

	Maior caule (cm)				Raiz principal (cm)				Xilopódio (cm)			
	Altura total	Circunferência ao solo	Atura da inserção da copa ou primeiro ramo	Circunferência na base da copa ou primeiro ramo	Comprimento	Profundidade	Circunferência após xilopódio	Circunferência no terço distal	Número de brotamentos	Circunferência	Circunferência do menor caule ao nível do solo	
planta 1	115	6,5	38	5,0	103	93	13	8,0	3 (com uma cicatriz)	13	3,0	
planta 2	220	10	45	8,5	126	96	15	2,4	4	15	4,0	
planta 3	150	7,0	15	7,0	>365	>110	13	5,0	6	18	<1,0	
planta 4	160	5,0	39	4,5	>140	>140	10	3,5	3 (com muitas cicatrizes)	15	4,0	
planta 5	550	45	255	35	---	---	---	---	4 (um ainda não havia emergido)	110	38	
planta 6	180	12	47	12	---	---	---	---	10 (além de dois caules queimados)	37 (com cicatriz)	1,0	
planta 7	320	23	110	24	---	---	---	---	4 (com duas cicatrizes)	50	38	

Tabela 2: Média \pm desvio padrão de: razão entre o peso da amostra saturada e o peso da amostra seca, densidade básica (g/cm^3), densidade seca (g/cm^3) do lenho da raiz e do caule de *Brosimum gaudichaudii*.

	Raiz	Caule
Peso saturado \div peso seco	2,72 ^a \pm 1,01	1,81 ^a \pm 0,10
Densidade básica	0,39 ^b \pm 0,01	0,61 ^c \pm 0,13
Densidade seca	0,48 ^b \pm 0,10	0,68 ^c \pm 0,08

Índices iguais: não há diferença estatisticamente significativa. Índices diferentes indicam diferença estatisticamente significativa ou diferentes grupos de dados.

Discussão e Conclusões

O aspecto geral de *Brosimum gaudichaudii*, arvoreta com tronco e ramos flexuosos torna-a semelhante a *Morus*, o gênero-tipo da família, ressaltando-se que a família Moraceae é composta tanto por representantes herbáceos, como arbóreos.

A sequência morfológica do sistema subterrâneo permite traçar o seguinte comportamento da espécie: o xilopódio emite um ou mais ramos escandentes, que comumente florescem precocemente, deduzindo-se, inicialmente, que o hábito vegetal seria subarbustivo. Caso esses ramos sejam destruídos, por exemplo, em decorrência de queimadas, o xilopódio emite novos brotamentos. Se, entretanto, esses caules persistirem, seu crescimento continua em altura e em diâmetro, transformando-se em troncos. A planta atinge o porte arbóreo, com ramos flexuosos. Cada ramo flexuoso, se for observado isoladamente, apresenta o mesmo aspecto de um brotamento jovem do xilopódio, o que ilustra o modo geométrico fractal do desenvolvimento vegetal. Porém, ainda que o tronco persista, o xilopódio continua a emitir novos brotamentos, cada qual com capacidade de atingir porte arbóreo.

Não se conhece o mecanismo de controle para a emissão de novos brotamentos. O fato de haver quase sempre um tronco mais conspicuo indica que um caule jovem inibe o brotamento de novos caules. Tal como ocorre com raízes gemíferas, as auxinas provavelmente sejam fundamentais nesse processo, embora outros hormônios também devam atuar (Bonnet e Torrey, 1966; Peterson, 1975; McCully, 1975). Assim, possivelmente, o caule jovem produz uma quantidade de auxina que inibe a diferenciação de novos brotos; conforme se processa o crescimento em altura do caule, a concentração de auxina no xilopódio decresce, permitindo o surgimento de novos caules.

De maneira geral, a ontogenia de caules a partir do xilopódio não é bem conhecida. Na espécie em estudo, provavelmente, em regiões parenquimáticas do xilopódio, diferenciam-se células que originam caule, como em *Mandevilla illustris*, sendo o crescimento caulinar acompanhado do crescimento em volume do xilopódio (Appezato-da-Glória, 2003).

Com relação à forma, o xilopódio de *B. gaudichaudii* assemelha-se ao de *Jacaranda decurrens*, por seu aspecto globoso (Rawitscher e Raichid, 1946). Xilopódios estão

presentes em ervas ou subarbustos. *B. gaudichaudii* é muito peculiar nesse sentido, uma vez que se trata de árvore xilopodiófora, o que traz vantagens competitivas para seu estabelecimento no cerrado.

A espécie, dependendo do ambiente, apresenta forma arbustiva, como em cerrado *strictu sensu*, onde as queimadas, ou ações antrópicas, são frequentes. Em ambientes menos hostis ela pode apresentar hábito arbóreo. Ao que parece, nas áreas estudadas, a maior parte da população adulta se encontra em um estágio arbustivo ou subarbustivo, apesar de seu potencial de crescimento ser o de atingir o hábito arbóreo. De fato, árvores da espécie, no cerrado, somente são encontradas em fitofisionomias com maior biomassa, ou seja, em locais com menor incidência de queimadas, onde a planta pode lentamente crescer e atingir o porte arbóreo (Aoki e Santos, 1982; Ribeiro, 1985). A constatação de um indivíduo com caules carbonizados documenta a ausência de resistência da parte aérea ao fogo, uma vez que, no cerrado, a sobrevivência de árvores ao fogo comumente se dá pela presença de casca espessa, que funciona como isolante térmico (Eiten, 1972). O crescimento do vegetal se caracteriza por grande investimento na parte subterrânea, seguindo a tendência do cerrado como um todo (Abdala *et al*, 1998). Não só pelo porte da raiz principal, mais grossa que o caule, como pelo aspecto de o sistema subterrâneo acumular óleos aromáticos e apresentar látex sempre copioso, enquanto escasseia no caule conforme progride o crescimento secundário. Em *Morus nigra* (Veenendaal e Outer, 1990) e *Hevea brasiliensis* (Fahn, 1979), esta pertencente à família Euphorbiaceae, também não há látex do lenho, nas a medula dos ramos e caules jovens é lactescente, sendo que os laticíferos alcançam a medula mediante conexões com folhas.

Quanto ao cerne, Pio Corrêa (1927) é enfático em descrever um cerne vermelho para a espécie. De fato, árvores da espécie que crescem na floresta amazônica apresentam cerne vermelho, pequeno em relação ao alburno. Na nossa amostra, somente em uma planta muito velha, de porte arbóreo, foi verificado cerne vermelho, mas somente até um metro de altura. A cor variada do cerne é resultante de alterações químicas que se processam no decorrer do tempo após a morte das células, resultando em uma gama de substâncias responsáveis pela diferença de cores (Paula e Alves, 1997), de modo que provavelmente os indivíduos observados ainda estavam com o cerne por se formar.

Rizzini e Heringer (1962) listam o *B. gaudichaudii* como apresentando sóboles, mas não mostram figuras nem os descrevem em detalhes. Em nenhuma das plantas, sóboles foram encontrados. O caso da planta 3, que crescia próximo a outras duas, foi o mais taxativo que é pouco provável haver sóboles nesta espécie. Foi importante documentar raízes com crescimento tão tortuoso como os troncos do cerrado. Provavelmente tal fato decorreu da ação de xilófagos: à medida que parte do tecido radicular não crescia adequadamente, devido aos ataques, o tecido sadio restante, ao se desenvolver, gerou as curvaturas. A menor densidade e o maior comprimento das raízes das plantas atacadas por xilófagos indica que provavelmente havia um estímulo, desencadeado pelo parasitismo, para que houvesse rápido crescimento radicular.

Com relação ao acesso à água do solo, ao que parece, a raiz cresce em profundidade até encontrar uma camada de solo suficientemente úmida na época seca, quando se ramifica em várias secundárias, de crescimento horizontal muito acentuado.

No cerrado, foram descritos três tipos básicos de organização do sistema radicular de árvores, havendo intermediários: um primeiro tipo, clássico, com uma raiz pivotante profunda, densamente ramificada na superfície; um segundo tipo, com uma ou mais raízes pivotantes profundas e poucas raízes laterais, como em *Dalbergia miscolobium*; um terceiro tipo, com várias raízes fibrosas, semelhantes às de gramíneas, como em *Qualea parviflora* (Scholz *et al*, 2002). Portanto, o sistema radicular de *B. gaudichaudii* se assemelha ao de *D. miscolobium*, onde Scholz *et al* (2002) não observaram o fenômeno de redistribuição hídrica.

O fato de as raízes principais nas plantas observadas atingirem a profundidade de cerca de um a dois metros condiz com as observações Jackson *et al* (1999), que verificaram, na região do cerrado da reserva do IBGE, em Brasília, que na época da seca, entre sessenta centímetros a dois metros de profundidade, o teor hídrico do solo variava entre 21% a 23%, ou seja, apresentando água disponível para as plantas. A partir de dois metros e meio, o teor de água no solo aumentava consideravelmente, para 25% a 30%. Não dispomos de dados relativos ao local de coleta, porém, considerando-se que a região é próxima às Águas Emendadas, local abundante em lençóis freáticos, podemos inferir que o sistema radicular encontre água suficiente na época seca nas profundidades observadas.

Apesar de normalmente as densidades do lenho de raiz e de caule se aproximarem, a discrepância verificada na espécie em estudo, ainda que no limite da significância

estatística, se assemelha ao que ocorre em *Ammona glabra*, onde a raiz é muito menos densa que o caule, praticamente cortiça (Heringer e Paula, 1974; Paula e Heringer, 1975). A densidade do lenho de *B. gaudichaudii* é semelhante à de *B. parinaroides*, árvore de florestas úmidas (Trugilho *et al*, 1991).

Quanto menor a densidade da madeira, maior sua capacidade de retenção hídrica, por sua constituição rica em parênquima ou fibras de parede delgada. A razão entre o peso da amostra saturada e o peso da amostra seca mostram que a raiz, menos densa que o caule, tenderia a reter mais água, porém não houve diferença significativa. Essa semelhança estatística pode dever-se ao pequeno tamanho amostral (4 indivíduos). A amostra de quatro pares foi suficiente para uma acuidade de 55%, indicando que a média populacional esteja com uma probabilidade de 5 % de estar 55 % abaixo ou 55 % acima da média da amostra. Conforme Eckblad (1991), para várias medições em biologia, com esse tamanho amostral consegue-se tal acuidade. O fato de a densidade básica e a densidade seca não diferirem estatisticamente mostra que o lenho de *B. gaudichaudii* é capaz de absorver muita água sem aumento importante de volume. Esse aspecto pode indicar que um dos fatores de adaptabilidade da espécie no cerrado seja essa capacidade de retenção hídrica, vantajosa na época seca anual.

Macroscopicamente, o caule se distingue da raiz por apresentar casca de superfície áspera e cor cinza, enquanto a raiz apresenta casca na tonalidade do laranja, superfície com descamação lamelar e odor de óleos vegetais. A casca do caule condiz com o descrito na literatura (Pio Corrêa, 1927; Almeida *et al*, 1988), mas a casca da raiz é marcadamente diferente.

Com relação à época de floração, há discordância na literatura: Almeida *et al* (1998) afirmam ocorrência de julho a novembro, enquanto Berg (1972) descreve como ocorrendo ao longo de todo o ano, mas com pico coincidente com o descrito por Almeida *et al*, entre agosto e outubro. Dentre as plantas observadas, com base na época em que as exsicatas foram feitas, apoiamos a observação de Berg, em que a espécie floresceria ao longo do ano, com tal período de pico.

Chama atenção que o xilopódio desta planta passasse por tanto tempo despercebido. Afinal, não só faz mais de um século que ela foi descrita, como justamente a parte subterrânea é a utilizada em escala industrial na produção de medicamentos. Não obstante,

trata-se de uma característica crucial para explicar o porquê do sucesso da espécie em se estabelecer no cerrado, sobretudo em sendo a única do gênero *Brosimum* nesse ambiente. Esse achado ilustra exemplarmente o descaso com que os recursos naturais do Brasil são tratados. O cerrado tem sido queimado nas siderúrgicas ou se reduzido a soja ou pastagens de gramíneas africanas. Quando uma planta se presta a uso em larga escala, quem a explora não tem o mínimo preparo para observá-la com mais cuidado. Até onde sabemos, não se encontram definidas rotinas de cultivo e manejo da espécie, que muito provavelmente é coletada *in natura* e daí processada. A menos que o Brasil opte por permanecer cada vez mais pobre e explorado pelas nações ricas, é imprescindível o financiamento regular da pesquisa constante dos recursos disponíveis em nosso território.



Figura 1: árvore de *B. gaudichaudii* apresentando um tronco (T), um caule subarbustivo (S) e três caules escandentes (E). Figura 2: árvore de *B. gaudichaudii* com três troncos bem desenvolvidos. Figura 3: árvore de *B. gaudichaudii* com ramos flexuosos. Figura 4: tronco seccionado mostrando ausência de látex no lenho e reduzido látex na casca. Figura 5: ramo seccionado mostrando látex abundante proveniente da casca e da medula. Figura 6: raiz pivotante seccionada mostrando látex abundante na casca e anéis de crescimento no lenho.

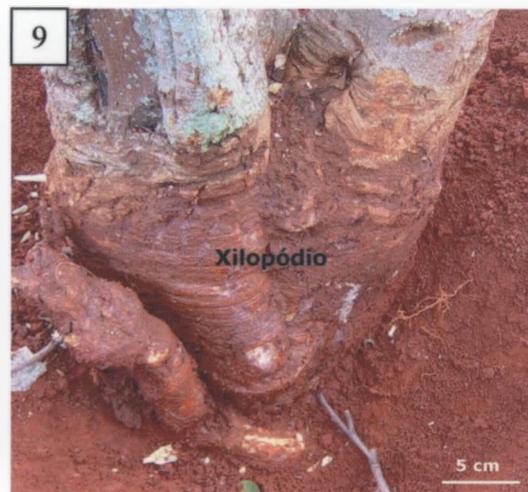
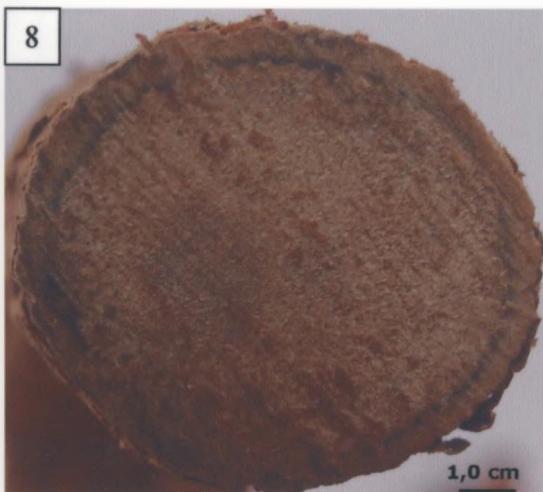


Figura 7: caule de *B. gaudichaudii* após 3 meses de armazenagem mostrando a casca se destacando do lenho, a medula (M) e a presença de anéis de crescimento. Figura 8: raiz de *B. gaudichaudii* após 10 meses de armazenagem mostrando a casca firmemente aderida ao lenho. Figura 9: xilopódio da planta 5 mostrando a inserção dos caules e um quarto brotamento que ainda não havia emergido do solo.

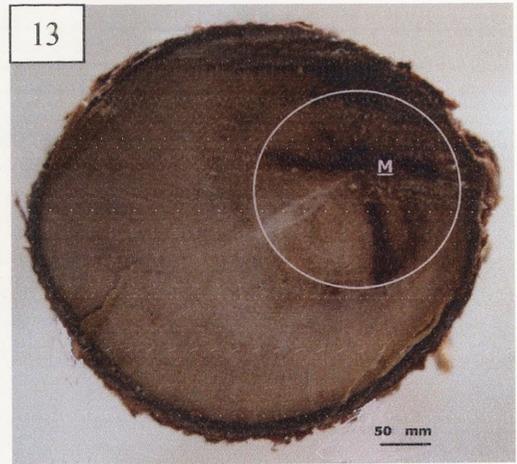
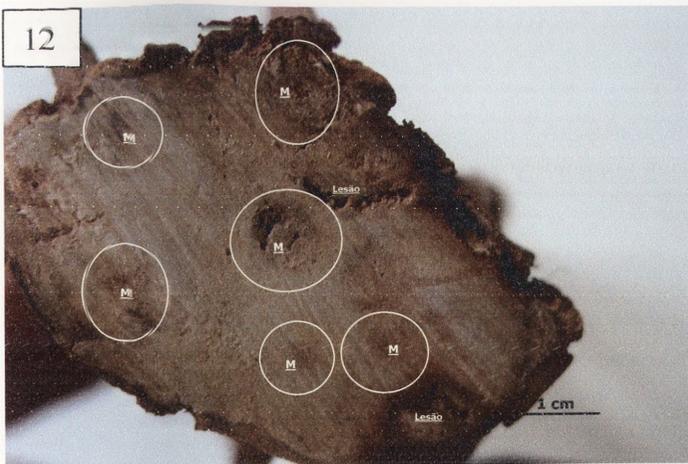
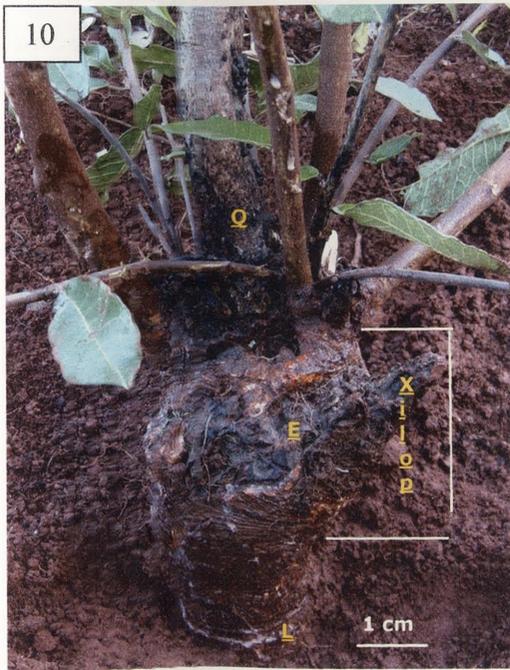


Figura 10: exemplar encontrado com caule queimado (Q), um grande xilopódio (xilop) apresentando escaras (E), relativas a caules anteriores perdidos. Látex (L) escorrendo da raiz. Figura 11: xilopódio da planta 3 mostrando os vários caules. Figura 12: seção transversal do xilopódio da figura 11 mostrando vários caules (círculos brancos), com suas medulas (M), imersos em parênquima. Há sinais de xilofagia (Lesão). Figura 13: xilopódio da planta 1, seção transversal, mostrando a região de um caule (círculo branco), com sua medula (M).



Figura 14: detalhe de raiz pivotante evidenciando radículas (R). Figura 5: visão geral da raiz da planta 2. Figura 16: detalhe do final da raiz pivotante mostrando uma tuberosidade atacada por xilófagos terminando em uma bifurcação de crescimento horizontal muito longo. Figura 17 detalhe de uma das bifurcações mostrando a ocorrência de uma tortuosidade.

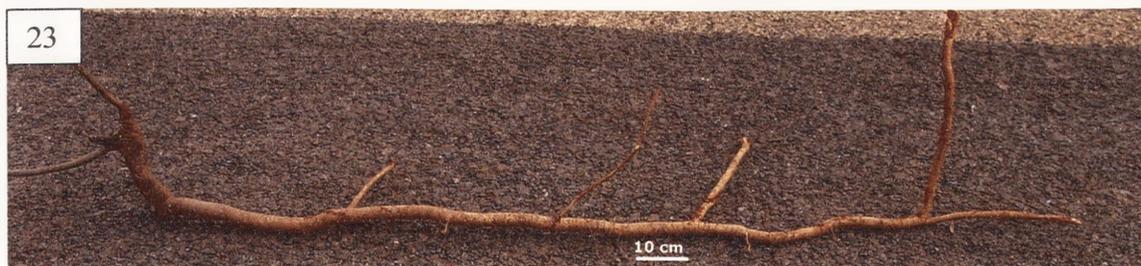
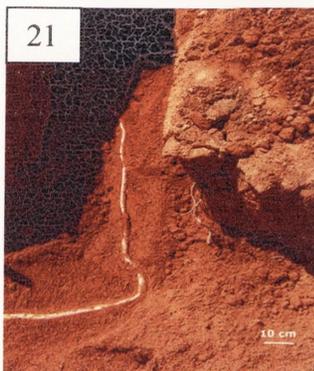
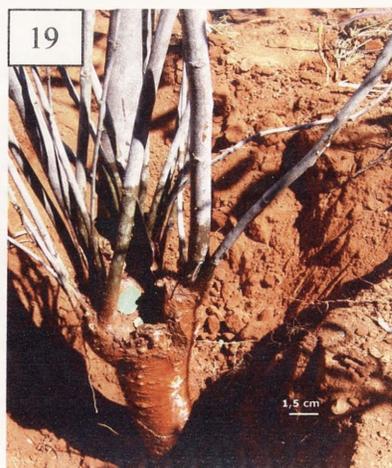


Figura 18: duas plantas de *B. gaudichaudii* crescendo próximas. Figura 19: os primeiros trinta centímetros escavados da planta à direita mostram um xilopódio e uma raiz pivotante. Figura 20: planta 3: a raiz cresce em direção horizontal, em sentido oposto ao da planta ao lado. Figura 21: a raiz da figura 17 continua seu crescimento, forma uma curva. Figura 22: a raiz da planta termina por se aprofundar no solo. Essa raiz estava intensamente atacada por xilófagos. Figura 23: planta 4: raiz pivotante, emitindo raízes secundárias a cada 20 cm, aproximadamente.

Capítulo 2 – Anatomia do lenho e da casca

Introdução

Além de produzir frutos comestíveis, *Brosimum gaudichaudii* caracteriza-se pelo grande acúmulo, nas raízes, de bergapteno e psoraleno, usados em tratamentos farmacológicos chamados PUVA-terapia, útil em diversas desordens cutâneas caracterizadas por hiperfuncionamento do sistema imune, como vitiligo, psoríase, dermatite atópica, etc.

Koek-Noorman *et al* (1984) descreveram, em um levantamento taxonômico, as características do lenho secundário do caule da espécie em apreço, porém a raiz, justamente a porção de interesse econômico, usada inclusive em escala industrial, não foi estudada.

Encontramos, na literatura, a descrição da casca de outras espécies do mesmo gênero, ocorrentes somente na Amazônia ou na Mata Atlântica (Roth, 1981). A espécie em estudo tem sido ocasionalmente encontrada em floresta na pré-Amazônia maranhense, porém é a única representante do gênero *Brosimum* na vegetação de cerrado, exposta naturalmente a fogo recorrente, onde alastra-se como uma das plantas mais comuns (Berg, 1972).

O presente capítulo tem por escopo o estudo comparativo da anatomia do lenho e da casca do caule e da raiz e a caracterização anatômica do xilopódio.

Metodologia

Cortes transversais, radiais e tangenciais de 20 a 60 µm de espessura foram obtidos em micrótomo de deslize modelo Jung 27407 da raiz principal e do caule mais desenvolvido de cada planta utilizada na amostragem (vide capítulo 1 para caracterização morfológica dos indivíduos estudados). Raízes secundárias, xilopódios, ramos e caules menos desenvolvidos foram seccionados somente em sentido transversal.

O material foi passado a vácuo em água destilada por 4 horas, seguido de desidratação em série etanólica, dupla coloração com safranina e verde rápido, com passagem em xilol e montagem em lâminas com Entellan® ou balsamo-do-canadá.

Material dissociado foi obtido com o uso de imersão de fragmentos de raiz e de caule em mistura 1:1 de ácido acético glacial e água oxigenada a 30% por 36 a 48 horas em estufa a 40 °C. Testes histoquímicos em cortes frescos com lugol/cloreto de zinco iodado, cloreto férrico, ácido clorídrico/ácido acético glacial, floroglucinol acidificado, Sudan III, reagente de Mayer e azul de anilina sob iluminação ultravioleta foram realizados para a detecção, respectivamente, de amido, taninos, cristais de oxalato, lignina, lipídios, alcalóides e calose (Kraus e Arduin, 1997).

Cubos de aproximadamente 1 cm de aresta do lenho de caule e de raiz foram confeccionados, cobertos por ouro e observados ao microscópio eletrônico de varredura, marca JEOL, modelo JSM-840A (Bozzola e Russel, 1992).

Os aspectos anatômicos foram documentados por fotomicroscópio Zeiss modelo Axioskop e por câmera digital Sony Cyber-Shot 4,0 megapíxeis, sendo as imagens processadas em computador pelos programas Microsoft PhotoEditor, MGI Photosuite e Word para Windows. As medições foram feitas utilizando-se ocular milimetrada, com fator de correção conhecido. O índice de Runkel das fibras foi determinado pela razão de duas vezes a espessura da parede sobre o diâmetro do lume. A fração parede foi determinada pela razão percentual de duas vezes a espessura da parede sobre o diâmetro total (Paula, 2003).

Para o lenho, foi adotada a terminologia recomendada pela International Association of Wood Anatomists (Iawa Committee, 1989), pela Comissão Panamericana de Normas Técnicas (Copant, 1973), por Fedalto *et al* (1989) e por Paula e Alves (1997), enquanto para a casca, a nomenclatura seguida foi a orientada por Davis e Evert (1968), por Richter *et al* (1996) e por Paula e Alves (1997), onde a definição de casca é a do conjunto de tecidos situados externamente ao câmbio vascular.

A contagem de vasos por mm², bem como dos raios por mm linear foi feita em microscópio contendo câmara clara acoplada, sobre cortes transversais e radiais, respectivamente. Mediram-se a espessura da parede celular, o diâmetro dos vasos, das fibras, bem como a altura e largura dos raios, além do comprimento das fibras e dos elementos de vasos, usando-se uma escala ocular com fator de correlação conhecido. A base amostral final foi de 100 medições (25 medições para cada raiz analisada e 20

medições para cada caule analisado). Os testes estatísticos utilizados foram: teste t de Student, qui-quadrado e teste F para comparação de médias (Beiguelman, 1988).

Para testar a validade das diferenças observadas entre caule e raiz, três pessoas, treinadas em anatomia, diferenciaram, em observação cega, vinte lâminas de cortes transversais e tangenciais de caule e de raiz, em aumento de 100x, em seqüência aleatória. De cada lâmina, foi selecionado um campo visual. O observador poderia ajustar o foco, mas não mover o campo visual. Para cálculo de sensibilidade e reprodutibilidade, foi calculado o índice kappa (Landis e Koch, 1971; Brennan e Silman, 1992; Sackett, 1993).

Resultados

Lenho

Semelhanças

Tanto no caule como na raiz, os **vasos** (figuras 1 e 2) são de distribuição difusa, numerosos, de diâmetro pequeno, solitários e múltiplos radiais de até 8 elementos (figura 5). **Elementos de vaso** (figuras 3 e 4) curtos, às vezes com apêndices, com placa de perfuração simples, em área horizontal ou levemente oblíqua, pontoações intervasculares areoladas, muito pequenas, alternas circulares a levemente hexagonais, com abertura lenticular inclusa. **Tilos** celulósicos presentes. O **parênquima axial** é paratraqueal aliforme a confluyente (figuras 1 e 2), enquanto os **raios** (figuras 6 a 8) são heterogêneos, composto de células procumbentes ou quadradas, extremamente finos a muito finos, extremamente baixos a muito baixos. Laticíferos não foram observados. As **fibras** são extremamente curtas a muito curtas, estreitas. **Anéis de crescimento** são ocasionalmente observados e correspondem a faixas de fibras de menor diâmetro radial (figura 9). As tabelas 1 e 2 mostram os dados biométricos dos parâmetros analisados no caule e na raiz.

Diferenças

Houve diferenças entre raiz e caule no que concerne à estrutura do lenho (tabelas 1 e 2). Na raiz, tanto o parênquima axial como o parênquima radial são mais abundantes que no

caule (figuras 1 e 2). Os raios, em cortes tangenciais, se apresentam de uni a 5-seriados em raiz, enquanto no caule são 1-2-seriados, menos comumente 3-seriados (figuras 6 e 7). Por sua vez, as fibras da raiz mostraram-se de parede muito delgada, resultando em um índice de Runkel de 0,25 a 0,50, enquanto no caule as fibras apresentam parede mais espessa, resultando em um índice de Runkel maior que 2. Embora a maioria dos vasos, tanto da raiz como do caule, tendesse a ser solitária, na raiz, os vasos múltiplos radiais de 4 ou mais são mais frequentes que no caule, onde a maioria dos vasos múltiplos é geminada ou múltipla de 3.

Para os cortes transversais, kappa variou de 0,8 a 0,9, indicando acertos em quase a totalidade dos casos, enquanto para os cortes tangenciais, kappa variou de 0,67 a 0,8, indicando substancial correlação.

No caule, a medula, enquanto resquício do corpo primário vegetal, é lactescente em caules jovens, compondo-se de parênquima com laticíferos, porém lignifica-se progressivamente conforme o desenvolvimento caulinar (figuras 10 e 11). Na raiz, o xilema secundário sugere formar-se ao redor de uma estrutura primária tetraarca (figura 12).

Grãos de amido ocorreram em todas as raízes analisadas (figura 13). Nos caules, somente as plantas 2 e 3, cujas raízes sofriam xilofagia (capítulo 1), apresentaram amido. Compostos fenólicos foram bastante evidenciados no lenho, principalmente nas raízes e nas medulas dos caules mais velhos. O reagente de Mayer não evidenciou alcalóides.

Casca

Caule

A espessura da casca variou de 0,8 mm no caule mais delgado (planta 1) a 3,5 mm no caule da planta 5, de porte arbóreo (vide capítulo 1).

A estrutura geral da casca se enquadra no esquema 2 de Richter *et al* (1996), onde os raios seguem um percurso ondulado e anastomosado, adquirindo forma de funil em virtude da ocorrência de tecido de dilatação (figura 14 a 16).

Os elementos de tubo crivado e fibras gelatinosas ocorrem de modo difuso entre os raios. Os raios da casca apresentam continuidade com os raios do lenho, que modo que a

altura, largura e seriação são semelhantes entre lenho e floema condutor em cada planta (figura 17).

O floema delimita-se pouco nitidamente entre condutor e não condutor. Entretanto, o floema mais antigo, pela presença de laticíferos não articulados e muito ramificados, diferencia-se do mais recentemente formado, onde laticíferos e canais axiais são mais escassos. Da mesma forma, o córtex e o floema de cascas mais jovens apresentam laticíferos (figuras 14, 15, 18 a 20).

Em cascas mais jovens, o córtex, composto por células organizadas em sentido tangencial, apresenta resquícios do corpo primário, definidos como agrupamentos de fibras gelatinosas (figura 20). Conforme a espessura da casca, a periderme é composta de três a dez camadas celulares, sendo que o felema se compõe de uma a três camadas de células com conteúdo lipídico (figura 21). Sob a periderme, algumas células corticais, organizadas em cordões radiais, apresentam lignificação da parede (figura 22).

Os elementos de tubo crivado são muito pequenos (diâmetro de 12,5 μm e comprimento de 138 μm), do tipo III de Richter *et al* (1996), sendo melhor identificados quando da reação com azul de anilina. Nas regiões mais próximas ao floema não condutor, nota-se maior acúmulo de calose nos elementos de tubo crivado (figura 23). Camada nacarada foi ocasionalmente observada (figura 24). As áreas crivadas laterais são elípticas e a placa crivada é composta, de angulação aproximada de 80° (figuras 25 e 26).

Compostos fenólicos são abundantes. Amido não foi verificado. A reação com floroglucinol ácido evidenciou pobreza de tecido esclerenquimático, que ocorre de forma esparsa. Lipídios foram evidenciados na feloderme. No córtex, ocasionalmente ocorrem cristais de oxalato de cálcio. Alcalóides não foram evidenciados pelo reagente de Mayer.

Raiz

A espessura da casca é de 0,8 mm nas raízes secundárias, enquanto variou de 1,7 mm a 3,5 mm no terço médio das raízes principais.

A estrutura geral da casca se enquadra no esquema 2 de Richter *et al* (1996), onde os raios seguem um percurso ondulado e anastomosado, adquirindo forma de funil em virtude

da ocorrência de tecido de dilatação, conspicuo mesmo em cascas mais jovens (figuras 27 e 28).

Tal qual o caule, os elementos de tubo crivado, fibras e parênquima axial ocorrem de modo difuso entre os raios. Não há diferenças entre os elementos de tubo crivado da raiz e do caule. Os raios da casca apresentam continuidade com os raios do lenho, que modo que a altura, largura e seriação são semelhantes entre lenho e floema condutor em cada planta (figura 29).

O floema distingue-se pouco nitidamente entre condutor e não condutor (figura 30). Laticíferos, não articulados e muito ramificados ocorrem em profusão mesmo no floema mais recentemente produzido, ao contrário do que ocorre no caule. Canais axiais ocorrem de modo difuso (figura 31).

A periderme é composta de três a dez camadas celulares, conforme a espessura da casca, sendo que o felema se compõe de uma a três camadas de células contendo lipídios, facilmente destacáveis. Sob a periderme, algumas células corticais, organizadas em cordões radiais, apresentam lignificação da parede (figuras 21 e 22).

Compostos fenólicos e amido são abundantes. A reação com floroglucinol ácido evidenciou pobreza de tecido esclerenquimático, que ocorre de forma esparsa. Lipídios foram evidenciados na feloderme. No córtex, ocasionalmente ocorrem cristais de oxalato de cálcio. Alcalóides não foram evidenciados pelo reagente de Mayer.

Xilopódio (figuras 32 a 37)

O xilopódio se compõe de lenho circundado por casca. A enxertia natural das regiões caulinares se evidencia pela presença das respectivas medulas e pelo xilema organizado concentricamente, gerando delimitações em relação ao xilema do xilopódio (figuras 32 a 34).

Em cortes das porções superiores, o lenho do xilopódio apresenta características semelhantes ao caule, com fibras de parede espessada. Conforme os cortes alcancem porções mais inferiores desse órgão, o lenho gradualmente apresenta áreas semelhantes à raiz, com fibras de parede mais delgada.

A casca tem estrutura semelhante à de raiz, onde laticíferos são abundantes no floema mais novo (figura 37).

Freqüentemente, encontram-se, no xilopódio, regiões onde o tecido xilemático se desenvolve paralelamente ou obliquamente ao plano transversal, como evidenciado pelo aspecto de orientação radial dos vasos e tecido parenquimático (figura 35).

Em meio ao lenho do xilopódio, evidenciam-se regiões parenquimáticas pouco diferenciadas, ora demarcando limites entre o xilema de caules e o do xilopódio, ora formando faixas que conectam o centro do xilopódio ao tecido externo.

As reações histoquímicas evidenciaram os xilopódios como muito lignificados e apresentando grandes quantidades de substâncias fenólicas (figura 36), especialmente os das plantas 2 e 3, que sofriam parasitismo no sistema radicular ao momento em que foram colhidas, entretanto, apesar de as raízes e os caules das plantas 2 e 3 terem evidenciado amido, nenhum dos xilopódios reagiu para lugol nem para cloreto de zinco iodado.

Tabela 1: Dados biométricos do lenho de caule e de raiz de *Brosimum gaudichaudii*.

Elementos Anatômicos	Unidade de medida	Caule		Raiz	
		X ± σ	mín-máx	X ± σ	mín-máx
Vasos					
Frequência	n°/mm ²	19 ± 4,3	6 – 45	16 ± 3,58	8 – 36
Diâmetro tangencial	µm	74 ± 21,3	40 – 165	74 ± 27,3	50 – 170
Comprimento do elemento	µm	270 ± 71,8	150 – 395	300 ± 65,1	150 – 470
Fração parede	%	< 1	---	< 1	--
Frequência de tilos	n°/mm ²	2 ± 2,2	0 – 15	1 ± 1,4	0 – 7
Diâmetro das pontoações	µm	3	----	3	---
Parênquima radial					
Frequência	n°/mm	12 ± 1,6	8 – 14	11 ± 1,5	8 – 13
Altura	µm	315 ± 165,7	100 – 1600	400 ± 218,8	115 – 2000
Altura	células	13 ± 7,8	2 – 30	13 ± 8,9	3 – 33
Largura*	µm	20 ± 5,7	15 – 35	34 ± 14,6	15 – 65
Largura*	células	2 ± 0,6	1 – 3	2 ± 1,2	1 – 5
Fibras					
Comprimento	µm	770 ± 166	530 – 1100	790 ± 167	440 – 1100
Diâmetro máximo*	µm	12 ± 2,7	7,5 – 15	18 ± 3,0	13 – 25
Espessura da parede*	µm	5,8 ± 0,1	2,0 - 6,0	2,0 ± 0,01	2,0 - 3,0

* Diferença estatisticamente significativa (P < 0, 01) entre caule e raiz.

Tabela 2: Porcentagens de vasos solitários e múltiplos no caule e na raiz de *Brosimum gaudichaudii*.

	Caule	Raiz
solitários*	73 %	79 %
geminados [#]	15 %	7,5 %
múltiplos de 3 [#]	9 %	6 %
múltiplos de 4 [#]	2 %	4 %
múltiplos de 5 ou mais [#]	1 %	3,5 %

* Diferença estatisticamente não significativa entre caule e raiz na proporção (P = 0,5) entre solitários e múltiplos.

Diferença estatisticamente significativa entre caule e raiz na proporção de vasos múltiplos (P < 0,01)

Discussão e Conclusões

A estrutura do lenho é compatível com a descrita por Koek-Noorman *et al* (1984), à exceção que, em nossa amostra, não observamos laticíferos no lenho secundário. Como os raios são heterogêneos, composto por células procumbentes e quadradas, ocasionalmente, aos cortes tangenciais, os raios apresentam uma célula de aspecto diferenciado, que poderia ser descrita como laticífero ou canal radial. Observações mais detalhadas mostram a parede de tais células como mais espessadas do que o aceitável para um laticífero, tipicamente longos e de parede muito delgada (Esau e Kosakai, 1975).

Apesar de as fibras da raiz pertencerem aos grupos I e II de Runkel, não é recomendável, do ponto de vista econômico, para a produção de papel, ao contrário do que ocorre para outras plantas da família Moraceae, frequentemente indicadas para tal fim (Prendergast, 2002). Entretanto, a madeira do tronco poderia ser recomendada para a produção de carvão.

Geralmente, o lenho do caule e da raiz não difere entre si em dicotiledôneas de grande porte arbóreo (Paula e Alves, 1997). Possivelmente, em plantas lenhosas, a raiz pivotante, por sua virtual incapacidade de absorção de água, termina por exercer as mesmas funções que o caule, tais como a de sustentação mecânica e de transporte de solutos, daí a semelhança estrutural. Em *B. gaudichaudii*, a raiz apresenta funções diferentes do caule, como acúmulo de amido e de cumarinas, o que explicaria o desenvolvimento de uma estrutura diferente.

Os elevados índices kappa mensurados mostram que a diferença verificada na amostra é tão significativa que a observação cega do material permite discriminação com elevado grau de certeza. Como esperado, o kappa dos cortes transversais, por mostrarem mais detalhes estruturais, foi maior que dos cortes tangenciais.

Em *Styrax camporum* (Machado *et al*, 1997), planta ocorrente no cerrado, os raios da raiz são mais largos que no caule e há expressiva diferença entre caule e raiz no que concerne ao elemento de vaso, tipo de fibras e densidade vascular. Em *B. gaudichaudii*, as diferenças ocorreram por conta da largura dos raios e do diâmetro e espessura da parede das fibras. A característica de o parênquima da raiz ser mais abundante e de as fibras serem

mais delgadas que no caule corrobora o observado no capítulo 1, em que o lenho de raiz é menos denso que o do caule, resultando em uma estrutura com maior capacidade de retenção de água.

O lenho da espécie em estudo se encaixa na estrutura geral do lenho de espécies do cerrado, como: vasos em distribuição difusa, solitários e múltiplos, placa de perfuração simples (Alves e Angyalossy-Alfonso, 2000). Uma vez que anéis de crescimento sejam observados de forma casual, não foi possível estabelecer nítida correlação com ciclos climáticos anuais. Não só a planta encontra água disponível na época seca como, embora o ciclo climático do cerrado se caracterize pela alternância de seca e chuvas, a duração de cada período é muito variável a cada ano. Os anéis de crescimento observados provavelmente se correlacionam mais a ritmos internos de desenvolvimento que a períodos de dormência provocados pelo ciclo climático anual (Iqbal, 1990).

A ocorrência de parasitismo no sistema subterrâneo (capítulo 1) esteve aparentemente correlacionada ao acúmulo de amido na parte aérea, contudo, a amostra foi pequena para que houvesse análise estatística, havendo necessidade de novos estudos para a compreensão desse fenômeno.

O arbusto australiano *Stirlingia latifolia* acumula reservas de amido no sistema subterrâneo, metabolizando-as para rebrotar após fogo (Bowen e Pate, 1993). Possivelmente, o mesmo ocorre em *B. gaudichaudii*, e nesse sentido, poderíamos compreender o fato de a raiz ser rica em amido e em cumarinas pelo seguinte processo: dado que a planta apresente um xilopódio, ela necessita de reservas energéticas para poder rebrotar. Logo, acumula amido na raiz. Por sua vez, a raiz é tenra, o que lhe dá vantagem para acumular água. Uma raiz tenra e rica em amido sofreria predatismo fácil pelos diversos seres heterotrofos que habitam o cerrado. Assim, a alta concentração de um metabólito tóxico – as cumarinas – protegeria a planta de predatismo. Portanto, o comportamento desse vegetal se adaptaria às adversidades do cerrado: as queimadas frequentes são contornadas pela presença de xilopódio; a redução de água disponível é enfrentada por um tecido tenro, com grande capacidade retenção hídrica, agindo provavelmente como reservatório na época seca; o risco iminente do predatismo fácil é combatido pelo grande acúmulo de psoraleno e bergapteno.

A casca de *B. gaudichaudii* tem estrutura semelhante à do gênero, que se caracteriza por escassez de tecido esclerenquimático, distribuição difusa dos elementos de tubo crivado, periderme duradoura, córtex confundindo-se com o tecido de dilatação dos raios, ausência de ritidoma e ocorrência de laticíferos em profusão (Roth, 1981). Seguindo a tendência da família Moraceae, os elementos de tubo crivado na espécie são muito pequenos (Esau, 1969). Ao contrário de *Eugenia spp* (Soffiatti e Angyalossy-Alfonso, 1999), onde a placa crivada é conspicua, na espécie em estudo, as áreas crivadas laterais são muito desenvolvidas, porém a placa crivada é reduzida. O maior acúmulo de calose nos elementos de tubo crivado mais próximos ao floema colapsado ilustra a seqüência natural na qual o acúmulo de calose e proteína P nas placas crivadas é o evento que precede o colapso dos tubos crivados (Crafts e Crisp, 1971).

Como os diâmetros caulinares foram muito diferentes, não foi possível comparar as espessuras relativas das camadas da casca. Dessa forma, os dados anatômicos de casca diferem conforme se observe um ramo, um caule jovem ou um caule de porte arbóreo.

Em plantas de clima temperado, o ciclo anual de crescimento do vegetal se reflete na estrutura da casca, que freqüentemente apresenta demarcações nítidas entre a camada condutora e a camada não condutora (Davis e Evert, 1970; Alfieri e Kemp, 1983). Nas regiões tropicais, tal como para diversas leguminosas (Costa *et al*, 1997), o floema é pouco distinto quanto à camada condutora ou à camada colapsada. Na espécie em estudo, no caule, o floema mais velho se distingue do mais novo pela presença de laticíferos, uma vez que mesmo nas regiões onde os raios sofrem dilatação, notam-se tubos crivados pérvios. A presença de fibras de forma difusa e a periderme com um felogênio pouco nitido ocorre também na planta tropical africana *Cassine maritima* (Archer e VanWyk, 1993).

Apesar de, à macroscopia (capítulo 1), a casca ser diferente entre caule e raiz, a estrutura anatômica de ambas é semelhante. A casca de caules jovens se diferencia por apresentar agrupamentos de fibras do floema primário, contudo, a diferença entre a casca da raiz e de caules mais desenvolvidos reside na ocorrência de laticíferos no floema mais recentemente formado do sistema subterrâneo, correlacionando-se ao observado no capítulo 1, onde o látex escasseia no caule conforme o desenvolvimento, enquanto escorre sempre abundante no sistema subterrâneo.

Os laticíferos apresentam crescimento contínuo e indeterminado, a partir de iniciais embrionárias (Mahlberg, 1963; Rozowski, 1968), por meio da fusão de protoplasmas resultante de ondas mitóticas, em um trajeto sinuoso percorrido entre o tecido primário (Milanez, 1953; Mahlberg e Sabharwal, 1966). Mais recentemente, foram identificados laticíferos diferenciando-se a partir do câmbio (Veenendaal e Outer, 1990). Sendo assim, possivelmente, na raiz se diferenciem laticíferos a partir do câmbio, enquanto no caule, originem-se somente a partir do crescimento das iniciais embrionárias. Em todo caso, a observação no floema de canais axiais, reconhecidos por muitas pequenas células em estreito contato, indica que mais de um sistema secretor está presente na casca da espécie.

Laticíferos no lenho secundário de Moraceae são comuns, apresentando continuidade com os laticíferos da medula e da casca (Tippe, 1937). O parênquima medular passa por lignificação e depósito de compostos fenólicos, de modo que o látex escasseie conforme o desenvolvimento caulinar. Os laticíferos da medula provavelmente são prolongamentos dos laticíferos foliares, como ocorre em *Morus nigra* (Veenendaal e Outer, 1990) ou em *Hevea brasiliensis* (Fahn, 1979). Dado que, na casca do caule, os laticíferos não ocorrem nas camadas mais novas de floema, é pouco provável haver laticíferos que atravessem-nas e alcancem o lenho. Não obstante, como visto no capítulo 1, látex não escorre no lenho, nem de caule, nem de raiz, sendo realmente pouco provável que esta espécie apresente laticíferos no xilema secundário.

Geralmente, é no látex que se depositam os metabólitos secundários responsáveis pelo interesse econômico de um dado vegetal, como em *Papaver somniferum* (Nessler e Mahlberg, 1977) ou em *Allium spp* (Huang e Sterling, 1970). Não obstante, amido (Mahlberg, 1975, Cunha *et al*, 1998) ou celulase (Sheldrake, 1969) podem ser identificados no látex, ilustrando a grande diversidade de substâncias que o compõem. Em *B. gaudichaudii*, contudo, as cumarinas se depositam na raiz, ocorrendo apenas traços no látex (Cláudia Cardoso, comunicação pessoal). A reação com lugol ou cloreto de zinco tampouco evidenciou amido nos laticíferos.

Anatomicamente, o xilopódio de *B. gaudichaudii* apresentou características típicas desse tipo de órgão, como a presença de tecido orientado obliquamente ao plano transversal, a escassez de amido, o caráter fortemente lignificado e aspectos estruturais que caracterizem uma transição entre caule e raiz (Paviani, 1977; 1978; Appezzato-da-Glória,

2003). O lenho apresenta características típicas do caule dessa espécie, com fibras de paredes espessadas, enquanto a casca é típica de raiz, com laticíferos junto ao floema mais jovem.

Foi peculiar, no xilopódio dessa espécie, a persistência das medulas caulinares. O fato de níveis mais inferiores do órgão apresentarem gradualmente características de raiz se explica pelo fato de a raiz, no corpo primário vegetal, conectar-se obliquamente ao xilopódio (capítulo 3). Dessa forma, provavelmente, conforme o crescimento secundário atinja raiz e o xilopódio, aos cortes transversais, evidenciam-se áreas com fibras típicas de raiz ao mesmo nível que ocorrem áreas com fibras típicas de caule.

Não se conhece a ontogênese de caules a partir dos xilopódios. Appezzato-da-Glória (2003) sugere que, provavelmente, em regiões parenquimáticas do xilopódio se diferenciem regiões caulinares, que se desenvolveriam inicialmente em direção radial e posteriormente emergiriam. Tal processo explicaria a ocorrência de tecido vascular orientado paralelamente ao plano transversal e indica as faixas de tecido indiferenciado como uma região correspondente a um novo caule em diferenciação.

Da mesma forma, a região limítrofe entre caule e xilopódio sugere tratar-se de uma região de diferenciação de novos vasos. Assim, por enxertia natural, o crescimento em diâmetro do xilopódio ocorreria tanto pelo câmbio vascular do xilopódio como pelo crescimento interno das regiões caulinares, porém tal hipótese necessita de maiores estudos.

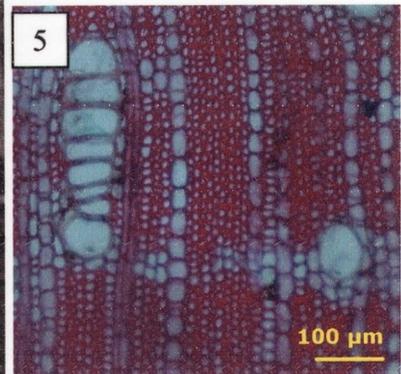
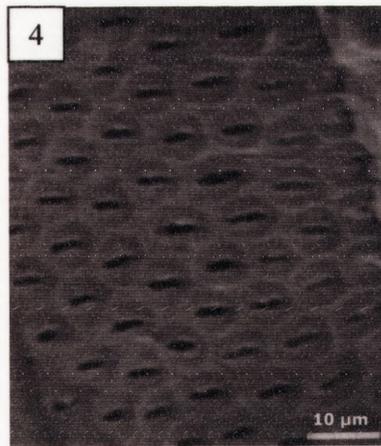
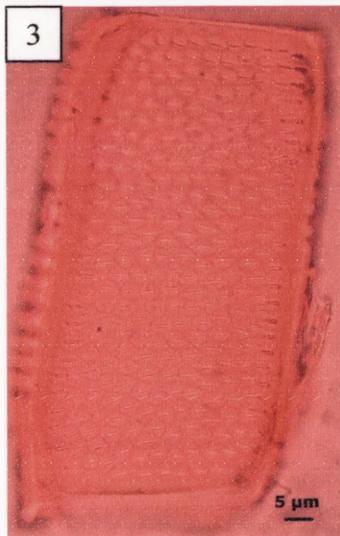
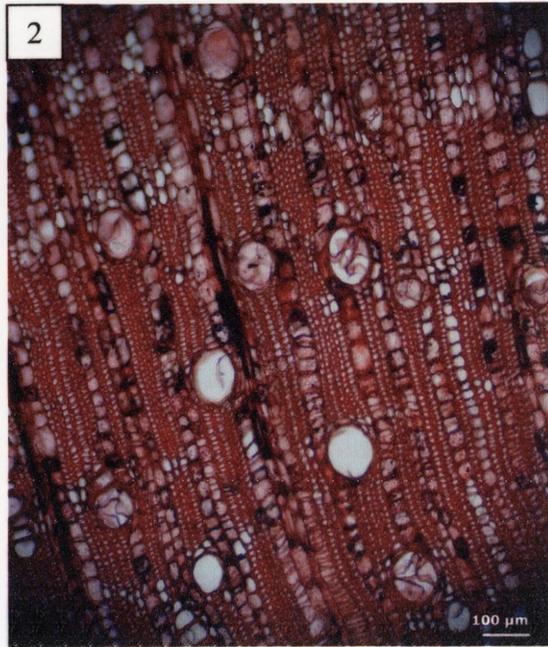


Figura 1: corte transversal do lenho caulinar. Figura 2: corte transversal do lenho radicular. Figura 3: elemento de vaso dissociado mostrando as pontoações areoladas alternas inclusas. Figura 4: elemento de vaso à microscopia eletrônica de varredura mostrando o formato arredondado das aréolas. Figura 5: detalhe do lenho de raiz mostrando um vaso múltiplo radial de oito.

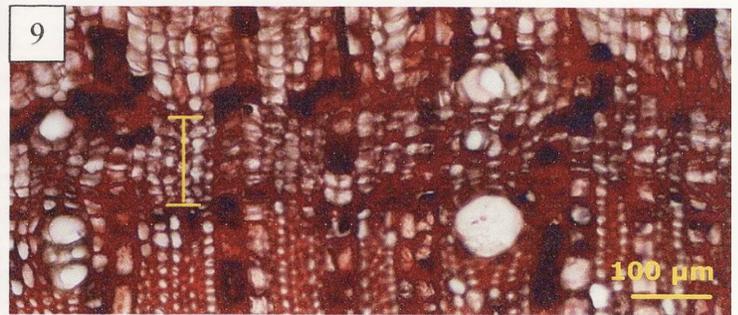
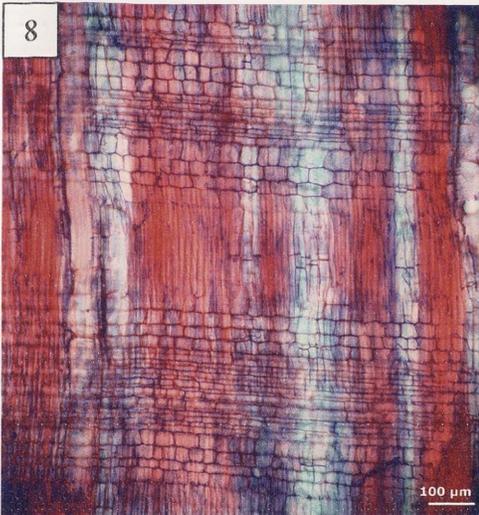
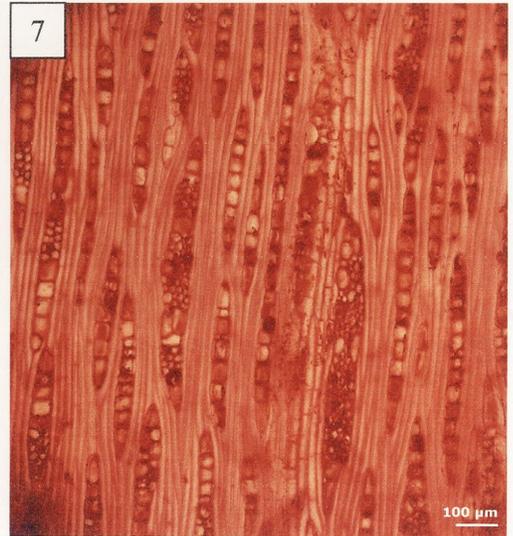
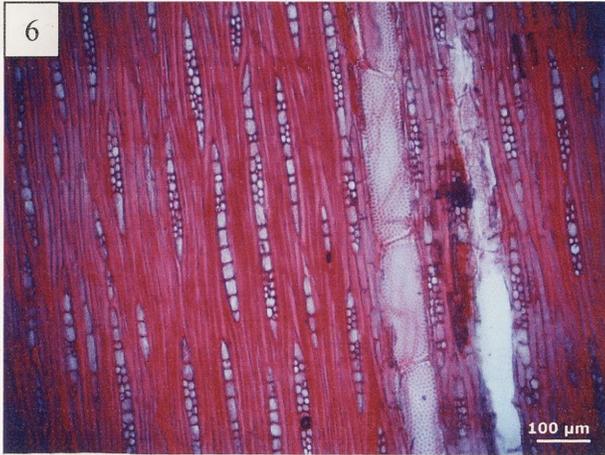


Figura 6: corte tangencial de lenho caulinar mostrando raios unisseriados ou bisseriados. Figura 7: corte tangencial de lenho radicular mostrando a presença de raios multisseriados. Figura 8: corte radial de lenho mostrando raios heterogêneos. Figura 9: corte transversal de lenho mostrando um anel de crescimento (indicado entre barras) composto de fibras achatadas.

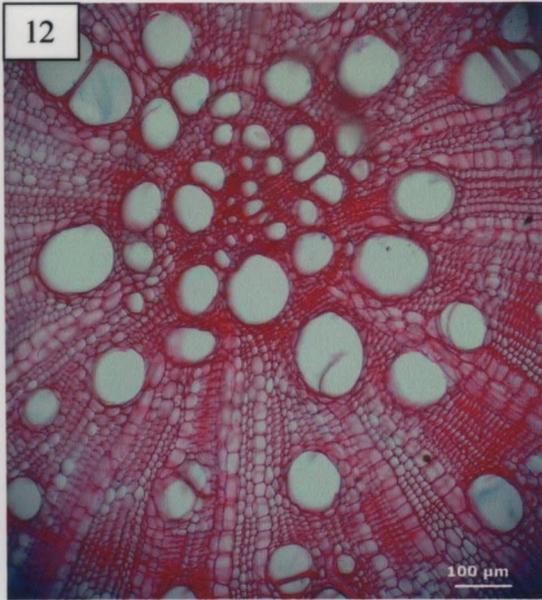
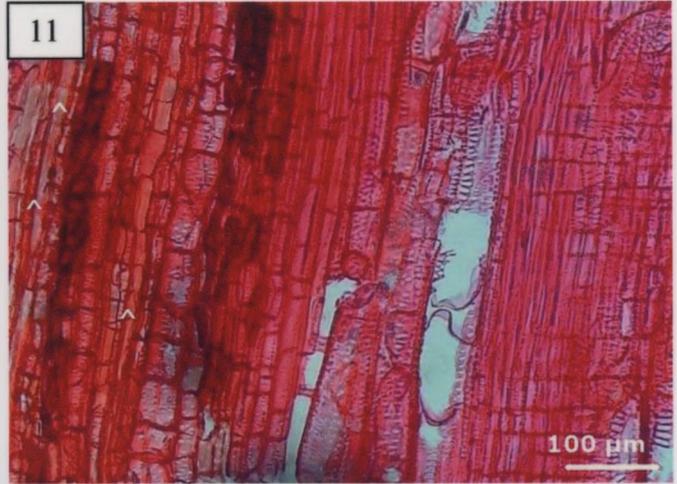
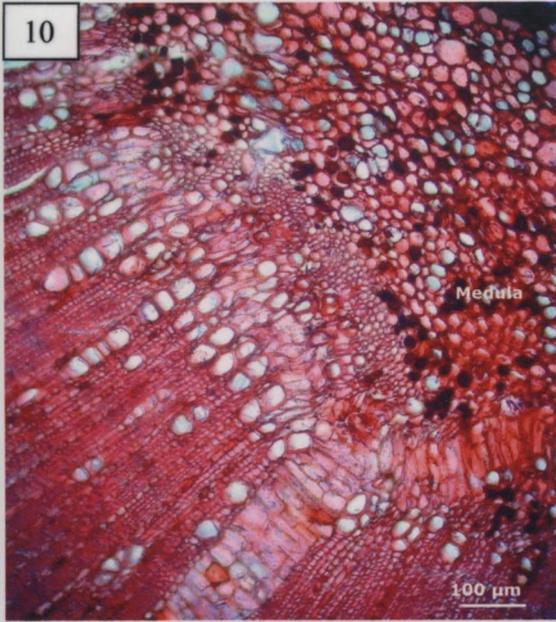


Figura 10: corte transversal do cerne caulinar mostrando que o parênquima medular sofre lignificação. Figura 11: corte radial do caule mostrando laticíferos na medula (setas). Figura 12: corte transversal de cerne radicular. Figura 13: corte transversal de raiz, reação com lugol, mostrando abundante amido no parênquima axial e radial.

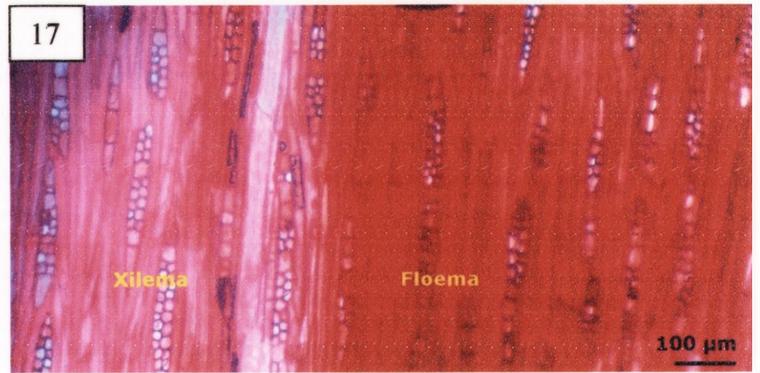
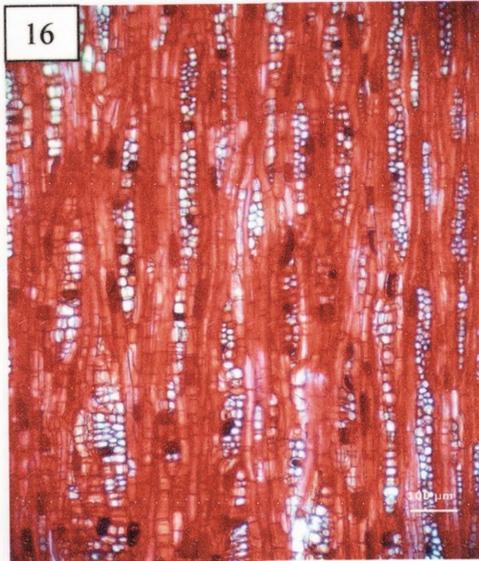
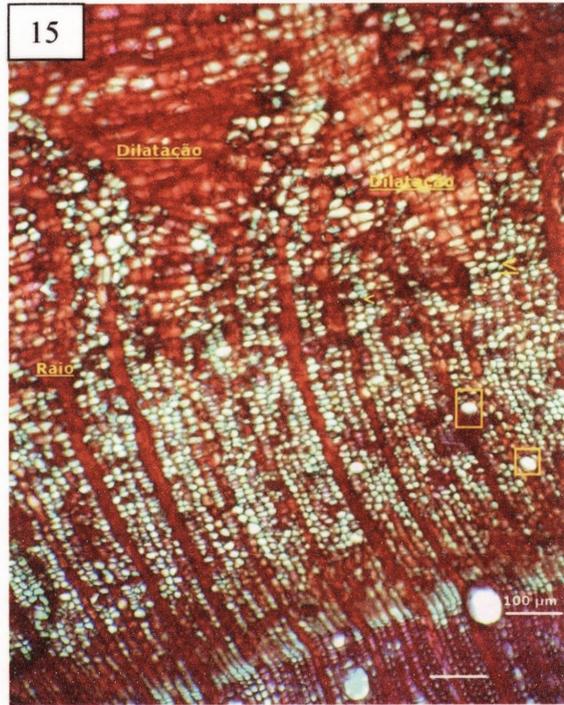
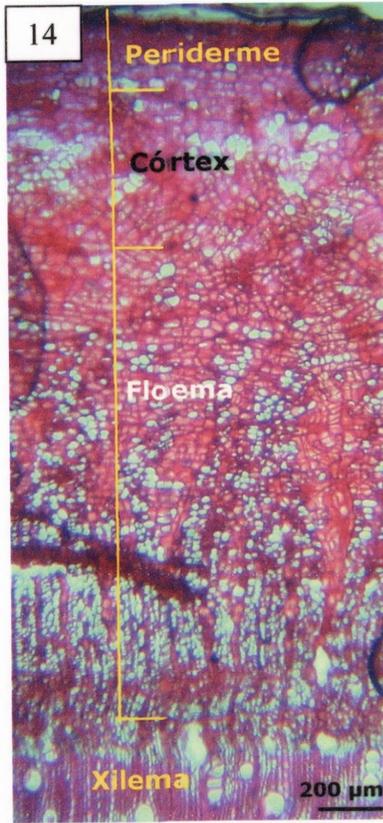


Figura 14: corte transversal de caule mostrando visão geral da casca, com separação pouco nítida entre floema condutor e não condutor. Figura 15: detalhe do floema de caule mostrando dilatação acometendo os raios e laticíferos colabados no floema mais antigo (setas). Os quadrados ressaltam canais axiais. Figura 16: corte tangencial de casca do caule mostrando dilatação acometendo os raios. Figura 17: corte tangencial de caule mostrando que a seriação, altura e largura dos raios do floema mais novo é a mesma do xilema.

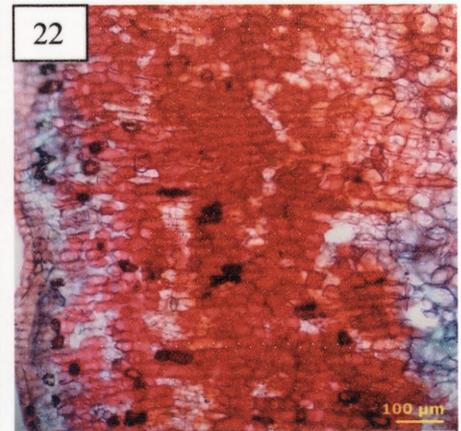
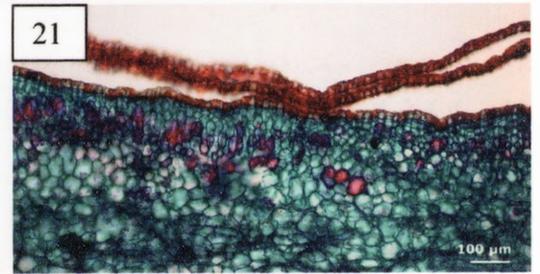
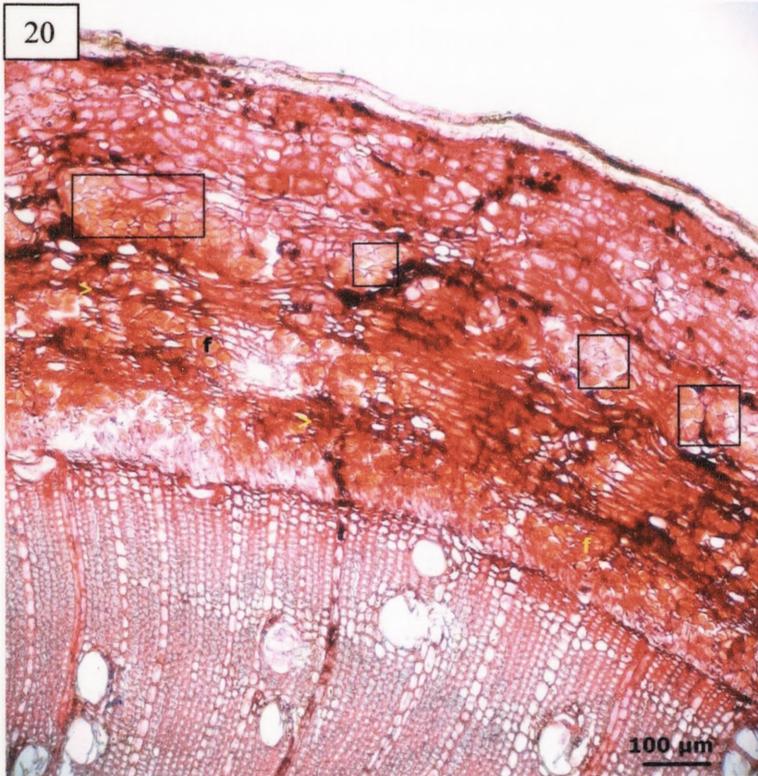
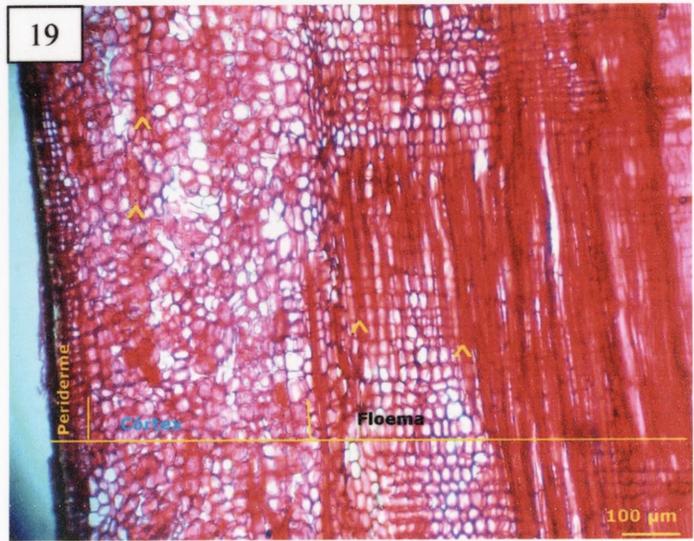
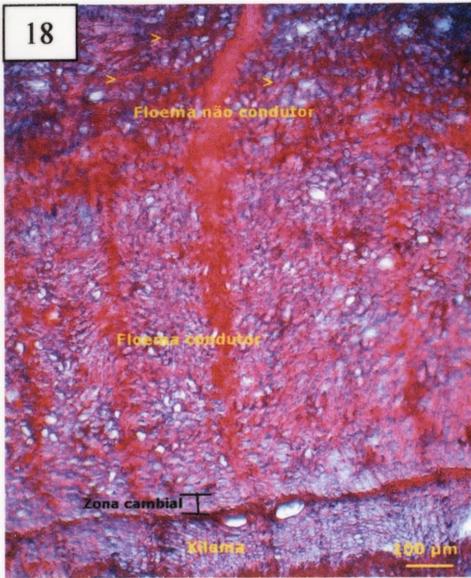


Figura 18: corte transversal de casca de caule de 3,5 cm de espessura mostrando a distinção entre floema não condutor, contendo laticíferos colabados (setas) e floema condutor. Figura 19: corte radial de casca mostrando a presença de laticíferos no córtex. As setas apontam alguns laticíferos no córtex e no floema. Figura 20: corte transversal de casca de caule jovem mostrando agrupamento de fibras do floema primário (entre quadrados), laticíferos (setas) junto ao floema mais novo e fibras gelatinosas (f) distribuídas difusamente. Figura 21: corte longitudinal de casca mostrando felema composto de três camadas celulares. Figura 22: corte radial de casca mostrando a presença, no córtex, de cordões celulares em organização radial com lignificação da parede.

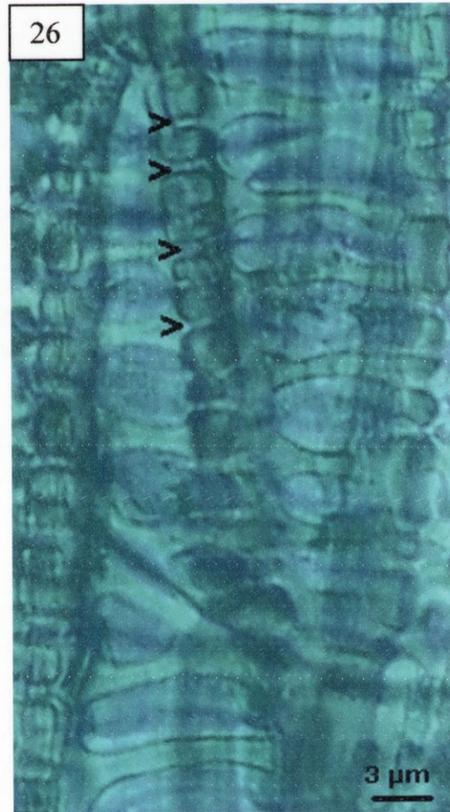
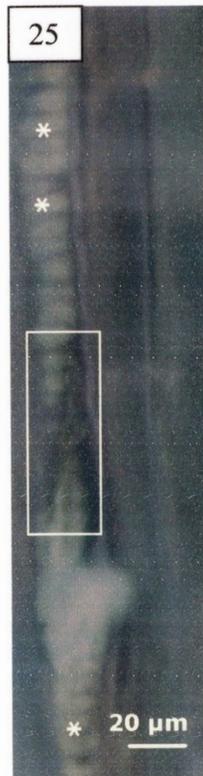
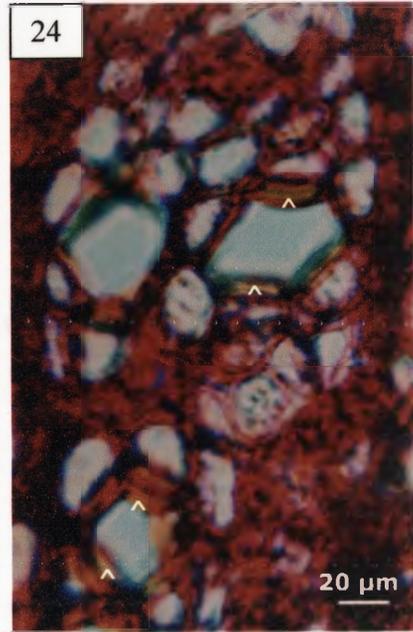
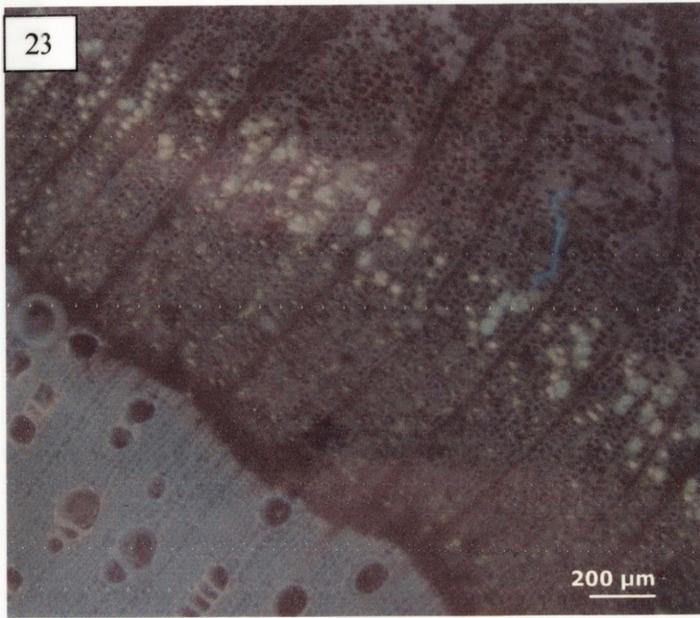


Figura 23: corte transversal de caule, fluorescência com azul de anilina, mostrando a distribuição difusa dos tubos crivados e que há maior acúmulo de calose nos elementos de tubo crivado mais próximos do floema não condutor. Figura 24: detalhe de elementos de tubo crivado mostrando a presença de camada nacarada (setas). Figura 25: corte longitudinal de casca, fluorescência com azul de anilina, ressaltando as áreas crivadas laterais elípticas e a placa crivada (destacada pelo retângulo) oblíqua. Figura 26: material dissociado de casca, mostrando dois elementos de tubo crivado unidos por placa crivada composta. As setas apontam áreas crivadas da placa crivada

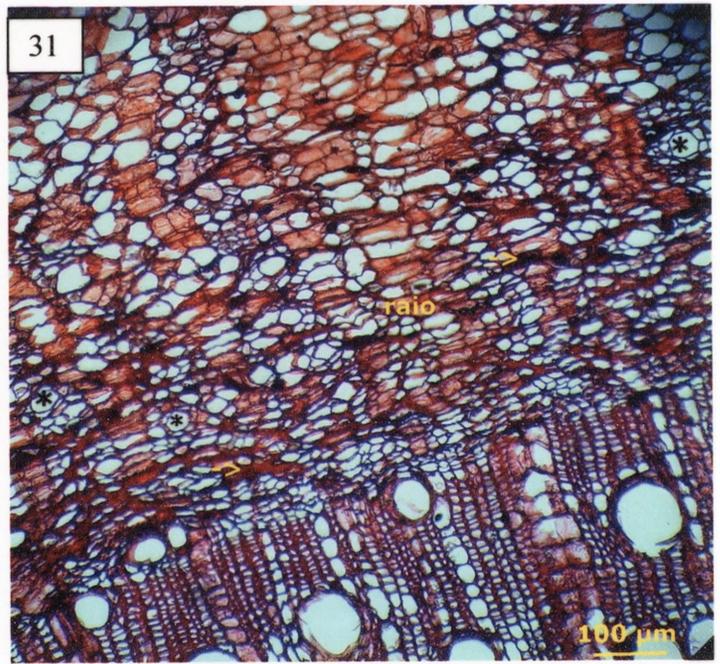
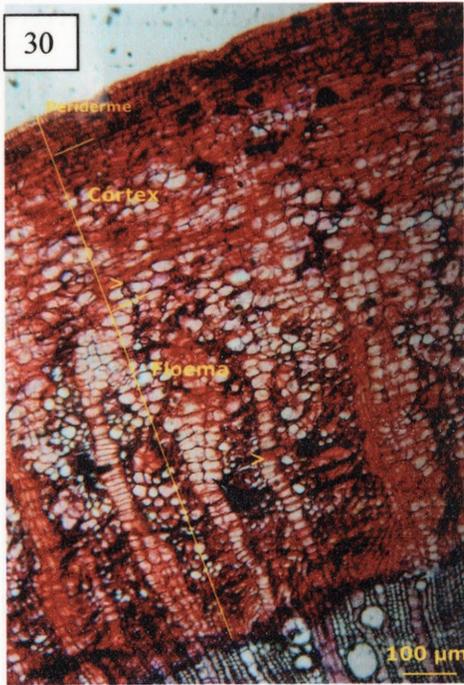
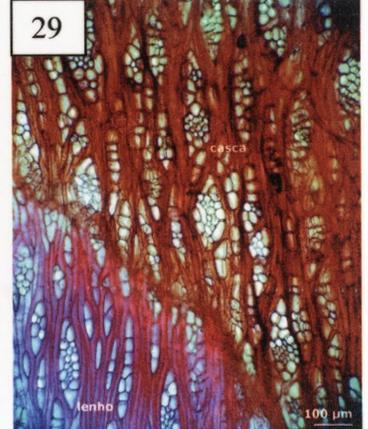
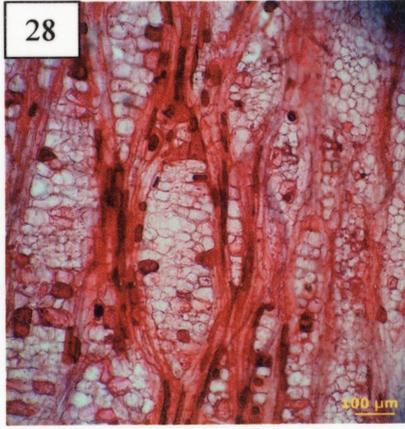
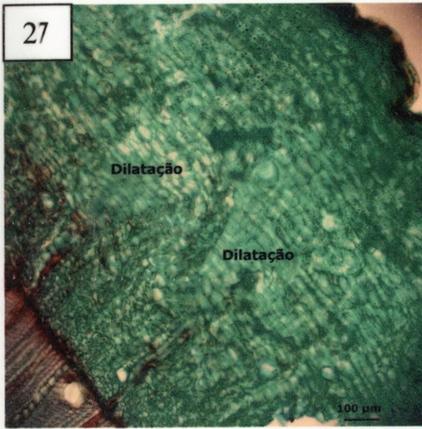


Figura 27: corte transversal de raiz secundária mostrando casca cujos raios já apresentam dilatação. Figura 28: corte tangencial de casca de raiz mostrando a ocorrência de dilatação nos raios. Figura 29: corte tangencial de raiz mostrando que o tipo de raio do floema mais recentemente formado é similar ao do lenho. Figura 30: corte transversal de raiz, mostrando que há tubos crivados pérvios mesmo na região em que há dilatação dos raios. As setas apontam alguns laticíferos, no córtex e no floema. Figura 31: corte transversal de raiz mostrando abundância de laticíferos (setas) no floema mais novo e a presença de canais axiais (asteriscos).

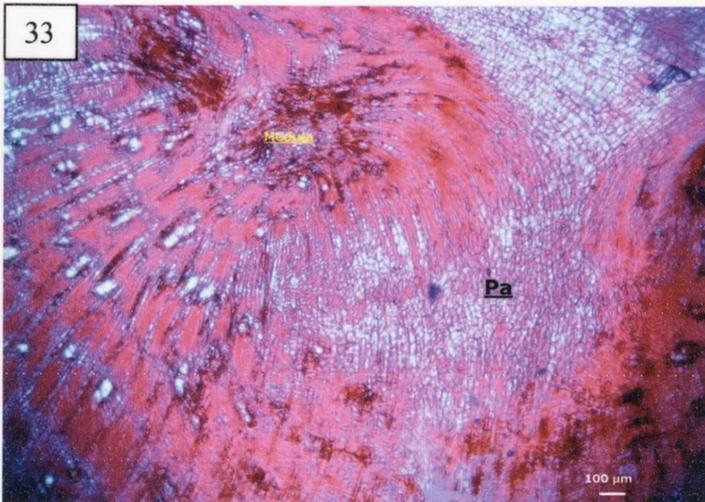
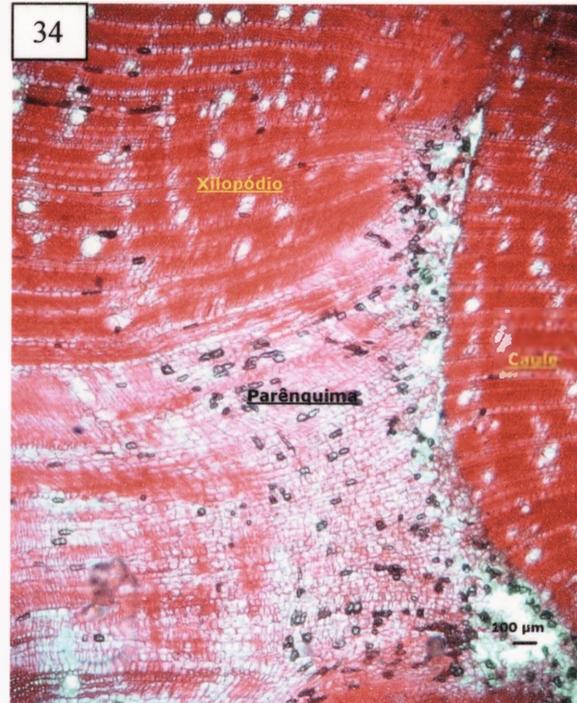
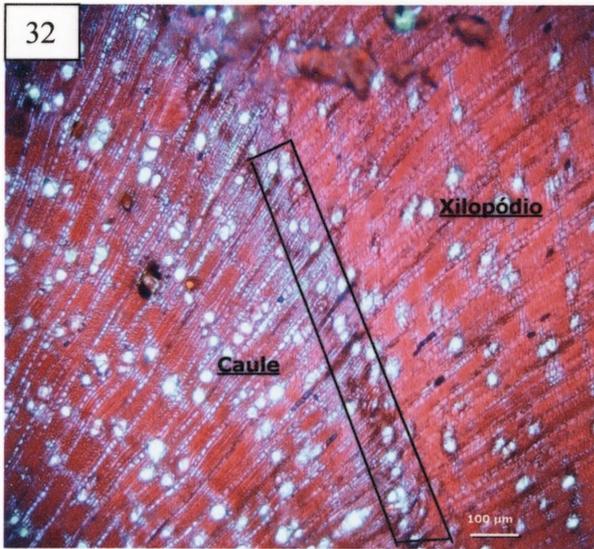


Figura 32: corte transversal de xilopódio de *B. gaudichaudii* mostrando o limite entre o lenho de um caule e o lenho do xilopódio (retângulo). Figura 33: corte transversal de xilopódio mostrando a presença da medula de um caule e o limite com parênquima (Pa) do xilopódio. Figura 34: corte transversal de xilopódio mostrando o lenho relativo a um caule, lenho do xilopódio e um parênquima na região limítrofe.

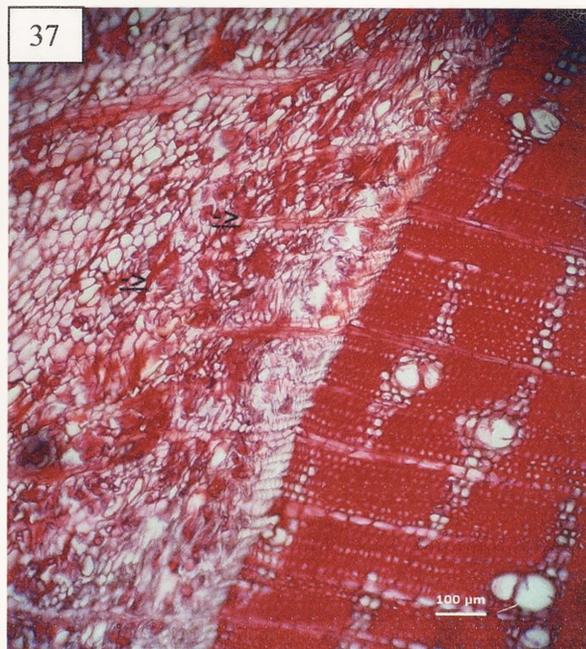
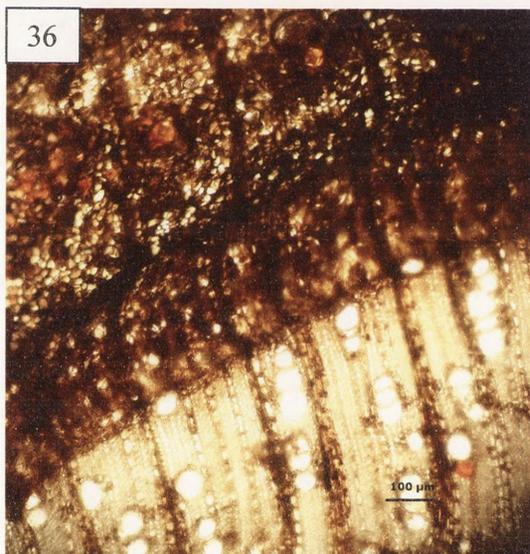
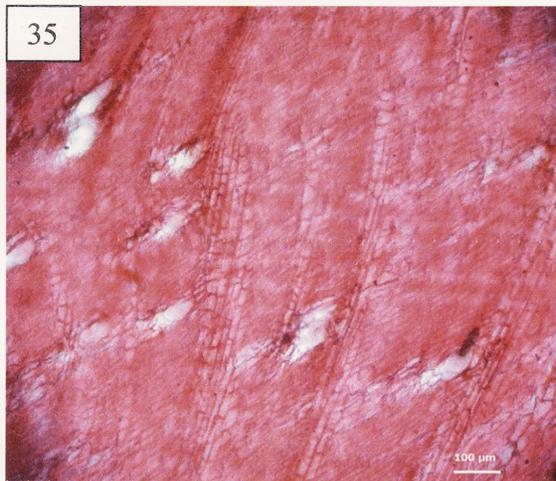


Figura 35: corte **transversal** de xilopódio mostrando região com xilema em orientação radial. Figura 36: corte transversal de xilopódio, reação com cloreto férrico, mostrando abundância de compostos fenólicos tanto na casca como no lenho. Figura 37: corte transversal de xilopódio mostrando lenho com características de caule e casca com característica de raiz, onde há presença de laticíferos (setas) no floema mais novo.

Capítulo 3 – Aspectos Morfológicos de Plantas Jovens de *Brosimum gaudichaudii* Produzidas em Condições Alternativas de Cultivo

Introdução

Brosimum gaudichaudii tem sido usado em escala industrial para a obtenção de medicamentos contra diversas desordens de pele, especialmente o vitiligo. Tal uso medicinal decorre do grande acúmulo, nas raízes, de furanocumarinas, como o bergapteno e o psoraleno (Auad, 1973).

Apesar de ser uma espécie do cerrado e de apresentar sementes com alta germinabilidade (Machado *et al*, 1986; Machado e Parente, 1986; Sales *et al*, 2002), não se encontra definida, ainda, uma rotina de cultivo em larga escala da espécie, sugerindo que toda a cadeia industrial esteja baseada em extrativismo, que, além de predatório, tende a fornecer matéria-prima com elevado teor de impurezas, tais como misturas com a parte aérea da planta, que apresenta apenas vestígios do princípio ativo. Não obstante, a própria coleta das raízes é uma tarefa difícil, tendo em vista a grande profundidade atingida.

Tentativas de propagação *in vitro* da espécie não foram, ainda, bem-sucedidas no desenvolvimento de um protocolo de produção de mudas (Martins, 1998; Fidelis, 1998; Bucher, 2000), de modo que, para o cultivo da espécie, deve-se utilizar a propagação por meio de sementes. Por sua vez, considerando a profundidade da raiz da planta, o cultivo direto no solo do cerrado poderia redundar, à época da colheita, nas mesmas dificuldades técnicas do extrativismo.

Assim, realizamos um ensaio inicial de cultivo em tubos de PVC, para avaliar a possibilidade do desenvolvimento de uma rotina de cultivo em larga escala. Considerando que o pico de dispersão de sementes da espécie ocorre de setembro a dezembro, descrevemos a morfologia de plantas de oito meses de idade, por ser a primeira época seca à qual, no cerrado, as plantas jovens teriam de sobreviver.

Metodologia

Em dezembro de 2002, sete sementes de *B. gaudichaudii* foram coletadas de plantas provenientes de diversos lugares de Brasília, postas a germinar em algodão embebido em água, em ambiente exposto à variação natural de luz e temperatura, porém protegido de chuvas e ventos.

Uma vez germinadas, as plântulas foram cultivadas em ambiente natural, em tubos de PVC (uma por tubo) de um metro de comprimento e 40 mm de diâmetro, enterrados vinte centímetros, contendo terra do cerrado. Para testar se a terra dos tubos seria lixiviada ao longo do tempo, dos seis tubos usados, quatro foram tapados na extremidade enterrada, sendo feitos orifícios nas bases. Dois tubos não foram tapados. Considerando que a água disponível para a planta era somente a contida no tubo de PVC, portanto, limitada, regas ocasionais foram feitas durante a época chuvosa quando da ocorrência de veranicos, definidos como intervalo entre chuvas superior a quinze dias e tempo quente e ensolarado. A última rega foi em maio de 2003.

Em agosto de 2003, quatro plantas foram retiradas para estudo morfológico, sendo as demais mantidas em cultivo para observações posteriores. Após observadas e fotografadas, foram postas em vermiculita e mantidas úmidas.

Resultados

Todas as sementes germinaram, sem a necessidade de remoção da testa, que, porém, fraturou-se espontaneamente com a embebição. Uma das plantas, ao quinto mês de cultivo, morreu após apresentar sinais de necrose da parte aérea. Mesmo em plena época seca, as plantas apresentavam-se em bom aspecto vital (Figura 1). Ao reinício das chuvas, foi nítido o retorno de rápido crescimento vegetativo, evidenciado pelo surgimento de novas folhas. Não houve lixiviação de terra dos tubos com a extremidade enterrada livre, tendo sido mais trabalhoso retirar as plantas de tubos com tampas.

Ao oitavo mês de cultivo, a parte aérea apresentava de 5 a 15 cm de altura, caule escandente, porém rígido, com 3 a 5 cicatrizes de folhas, cor avermelhada, com gema apical de cor marrom, presença de uma a três folhas jovens, de 1 a 3 cm de comprimento, margens denteadas, formato oblongo-lanceolado com ápice acuminado, glabrescentes na face dorsal, nervuras broquidôdromas, 2 estípulas intrapeciolares (figuras 2 e 3), liberando látex quando destacadas.

O xilopódio se evidenciava como uma tuberosidade diferenciada na região hipocotiledonar, de coloração castanha, que emitia inúmeras raízes adventícias, e de onde se continuava uma raiz principal, de cerca de 50 cm de profundidade (figura 4). Em uma das plantas jovens, havia três raízes, cada qual com tamanho ao redor de 50 cm (figura 5). A raiz principal se conectava ao xilopódio obliquamente (figura 6). Gemas adventícias não foram observadas no sistema subterrâneo.

Os cotilédones, conferruginados, apresentavam-se secos e ainda conectados à planta. Uma das plantas estava aparentemente em dormência, com cotilédones túrgidos, hidratados, de coloração verde-claro, ainda que estivessem enterrados sob o solo; a parte aérea media 5 cm e a parte subterrânea, 15 cm. A raiz principal emitia poucas raízes secundárias (figura 7). Não havia folhas, somente gema apical.

Em vermiculita úmida, as plantas jovens retomaram seu desenvolvimento, como observado pela mudança de coloração da gema apical, de marrom para verde e diferenciação de novas folhas. Uma das plantas, porém, morreu em decorrência de fratura da raiz quando da retirada do tubo de PVC.

Discussão e Conclusões

Para o estabelecimento de uma rotina de cultivo da espécie, acreditamos que o plantio em tubos de PVC seja uma boa técnica, ressaltando-se que observações continuadas devem ser feitas, bem como testes com tubos de bambus, material renovável ou plantio em valas. Aparentemente, o uso de tubos de maiores calibres poderia ser mais vantajoso, no sentido de propiciar espaço mais amplo para o crescimento em diâmetro do sistema subterrâneo. Assim, um lote de sementes seria escarificado, de acordo com o observado por Sales *et al.*, 2002 e posto a germinar. Uma vez germinadas, seria colocada uma plântula por tubo cheio

de terra. Quando a planta atingisse porte economicamente viável, bastaria retirar o tubo e lixiviar a terra, expondo inteiramente a raiz. Caso o cultivo seja feito diretamente no solo, a colheita do material vegetal provavelmente será tão difícil quanto a coleta extrativa no campo, tendo em vista o conspicuo crescimento radicular da espécie.

Levando-se em conta a morfologia do vegetal adulto (capítulo 1), a presença de apenas uma raiz pivotante na planta jovem é provavelmente o padrão mais comum na espécie. Embora não tenhamos encontrado vegetais adultos com mais de uma raiz, o tipo radicular de *B. gaudichaudii* é semelhante ao de *Dalbergia miscolobium*, onde indivíduos com mais de uma raiz pivotante foram descritos (Scholz *et al*, 2002). A planta jovem que apresentava três raízes pivotantes muito bem desenvolvidas sugere que o mesmo fenômeno pode ocorrer em *B. gaudichaudii*. Outra explicação para a presença de mais de uma raiz seria alguma lesão na raiz principal, que teria levado ao desenvolvimento de mais de uma raiz. Sendo assim, seria esperado que, na vida adulta, apenas uma das raízes se tornasse a principal, enquanto as demais se tornariam secundárias. Provavelmente, conforme se aprofundem os estudos nessa espécie de interesse farmacológico, tais variações pouco usuais passarão a ser melhor observadas e esclarecidas.

Uma pequena parte aérea com poucas folhas provavelmente mantém a fotossíntese a taxas suficientes para o maciço investimento no crescimento radicular, que em menos de um ano atingiu quase a metade da profundidade encontrada nas plantas adultas. Com relação à forma das folhas, em *Brosimum bernadette*, assim como na espécie estudada, as margens foliares são mais pronunciadamente denteadas nas plantas jovens que nas plantas adultas, enquanto em *B. utile*, as folhas das plantas jovens já apresentam margens inteiras (Duke, 1969).

Em todas as plantas, o xilopódio esteve nitidamente diferenciado como uma tuberosidade de coloração castanha, conforme observado em outras espécies do cerrado (Rizzini, 1962, 1963; Rizzini e Heringer, 1961, 1963). No vegetal adulto, o xilopódio não apresenta radículas, ao contrário do que ocorre na planta jovem, onde o xilopódio emite várias raízes adventícias.

Os cotilédones verdes, ou seja, provavelmente apresentado ainda consideráveis teores de reservas, associado ao estado de dormência da planta jovem, parece representar que as plantas jovens da espécie podem entrar nesse estado fisiológico, o que se trataria de uma

estratégia eficaz para o estabelecimento vegetal, uma vez que esse indivíduo retomou rapidamente seu crescimento e desenvolvimento quando recolocado em vermiculita úmida. A cor verde dos cotilédones provavelmente se deve ao acúmulo de fenois, que podem apresentar essa cor (Hagerman *et al*, 1998), e não de clorofila, uma vez que, sob o solo, não há luz para o estímulo à diferenciação de cloroplastos.

Em geral, a conexão da base do hipocótilo com a raiz pivotante é uma estrutura contínua verticalmente (Oliveira, 2001). A conexão lateral da raiz no xilopódio foi observada tanto na espécie em estudo como também em *Byrsonima basiloba* (Malpighiaceae), arbusto xilopodióforo (Pereira, 2002).

O solo predominante em Brasília é o latossolo vermelho-escuro argiloso. Esse tipo de solo altera pouco sua permeabilidade e capacidade de retenção hídrica mesmo após sucessivas queimadas (Spera *et al*, 2000). Na época seca, as camadas superficiais do solo apresentam marcada redução da água disponível, enquanto as camadas mais profundas persistem razoavelmente úmidas. Ao reinício das chuvas, as camadas superficiais aumentam seu teor hídrico mais rapidamente que as camadas mais profundas (Scholz *et al*, 2002). Com relação à porcentagem de água, Jackson *et al* (1999) descrevem, na reserva do IBGE, em Brasília, que na época seca, a partir de 50 cm de profundidade, há mais de 20% de água no solo. Kanegae *et al* (2000) encontraram na região brasiliense da Fazenda Água Limpa, um potencial hídrico, na época seca, a 60 cm de profundidade, de -2,6 MPa em campo sujo e de -1,8 MPa em cerradão. Scholz *et al* (2002), na reserva do IBGE, documentaram uma flutuação diurna no potencial hídrico do solo da reserva do IBGE: a 23 cm, o potencial hídrico atingia um mínimo de -2,3 MPa ao meio-dia e um máximo de -1,0 MPa à meia-noite. Conforme a espécie vegetal próxima do local de medições, havia diferenças nos valores observados.

Com relação às respostas biológicas à seca, plantas jovens de *Qualea grandiflora*, quando crescidas sob déficit hídrico, apresentam marcada redução no desenvolvimento da parte aérea, havendo maior investimento na formação de raízes (Paulilo *et al*, 1998). Igualmente, plantas jovens da espécie do cerrado *Bowdichia virgilioides* interrompem o crescimento da parte aérea durante a época seca. Mesmo plantas adultas lenhosas do cerrado apresentam marcada redução da condutância estomática na época seca. *Dalbergia*

miscolobium apresenta ponto de compensação fotossintético com potencial hídrico foliar entre $-3,0$ e $-4,0$ MPa (Kanegae *et al*, 2000).

Não se conhece a resistência ao déficit hídrico de *B. gaudichaudii*. Pode-se estimar, com base na literatura, que à profundidade de 50 cm, as raízes das plantas jovens encontrem, em ambiente natural, água suficiente ao menos para manter o ponto de compensação fotossintético durante a época seca. As condições de cultivo mostram que a planta jovem resiste satisfatoriamente ao déficit hídrico, posto que a disponibilidade de água deveria ser menor no estreito tubo de PVC que em condições naturais. O reinício das chuvas coincidiu com a retomada do crescimento das plantas.

A morfologia da plântula ilustra claramente um grande investimento no desenvolvimento da parte subterrânea com a manutenção de um mínimo de parte aérea. O estabelecimento de *B. gaudichaudii* nas diversas fitofisionomias do cerrado depende, pois, do tipo de solo e do grau de competição por água das espécies ao redor. A planta jovem da espécie parece apresentar duas estratégias para seu estabelecimento: uma, a de produzir rapidamente raízes profundas, outra, a de poder entrar em hibernação após germinada. Dessa forma, os oito meses de vida da planta jovem de *B. gaudichaudii* são um momento crucial para o sucesso reprodutivo da espécie, uma vez que, em plena seca e com as reservas cotiledonares esgotadas, a planta depende somente da água disponível que o sistema subterrâneo conseguir captar e da fotossíntese que as poucas folhas conseguirem realizar.

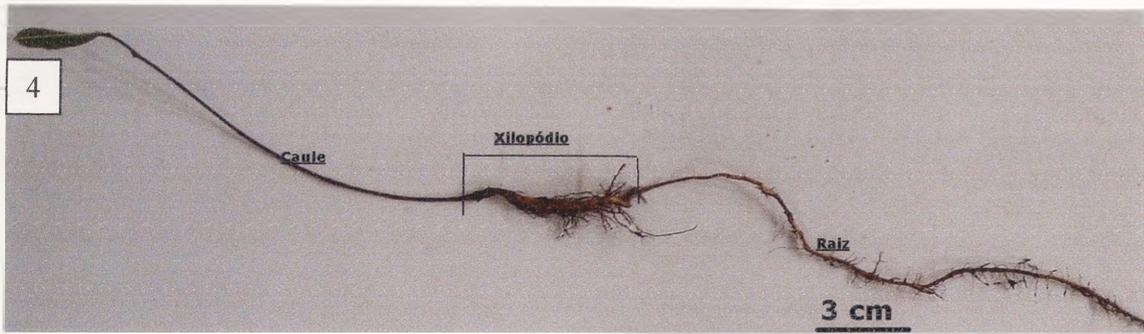
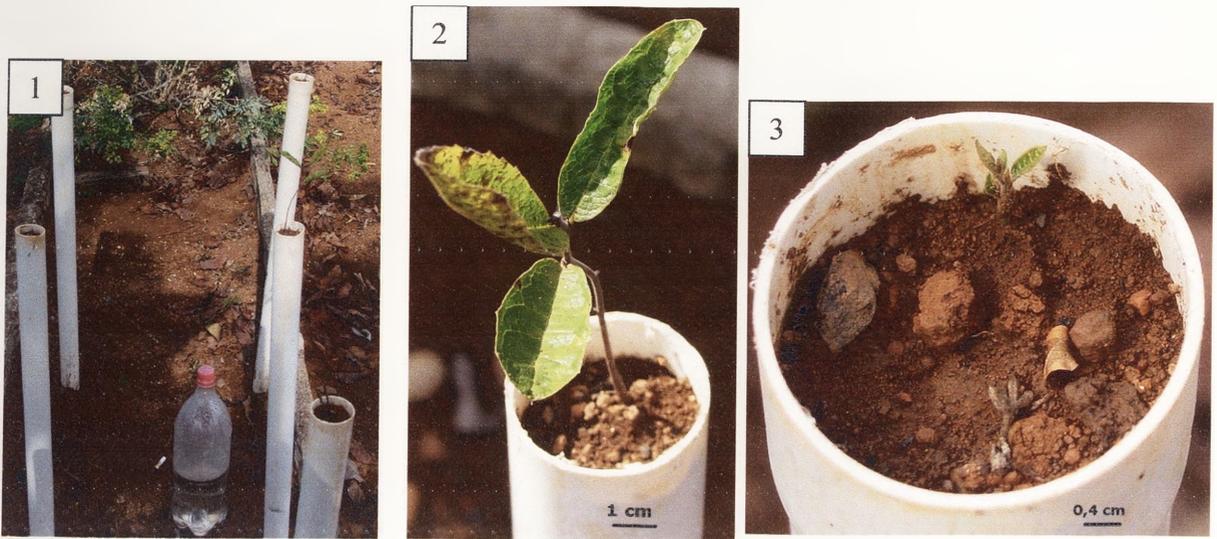


Figura 1: local de cultivo em horta. Figura 2: planta aos oito meses de idade com folhas atacadas por parasitos. Figura 3: planta aos oito meses de idade. Durante a época chuvosa, a gema terminal apresentou sinais de oxidação. A planta retomou seu desenvolvimento. Figura 4: planta aos oito meses de idade, mostrando o caule escandente, o xilopódio bem evidenciado, com raízes secundárias, e uma longa raiz principal, de 50 cm de comprimento.

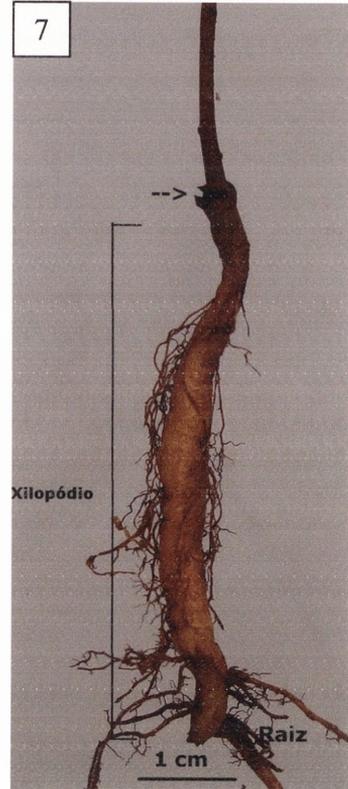
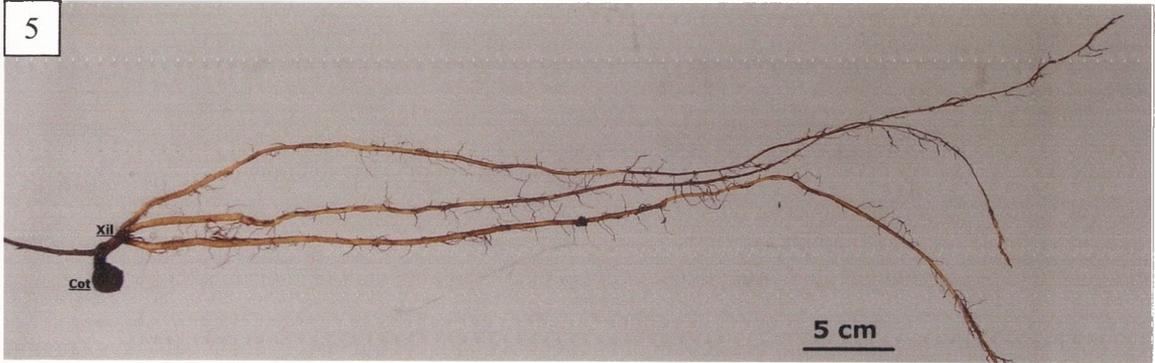


Figura 5: planta de *B. gaudichaudii* com oito meses de idade apresentando três raízes principais, cada qual com 50 cm de comprimento, partindo do xilopódio. Os cotilédones (cot), murchos, ainda estão fixos ao corpo vegetal. Figura 6: planta de *B. gaudichaudii* aos oito meses de idade em estado aparente de hibernação. Os cotilédones se apresentam verdes, apesar de estarem sob o solo. A raiz principal emite poucas raízes secundárias. A parte aérea retomou franco desenvolvimento após o replantio deste espécime. Figura 7: sistema subterrâneo de planta de oito meses de idade mostrando que a raiz principal se conecta ao xilopódio em ângulo oblíquo. A seta aponta a região de inserção dos cotilédones.

Discussão Final

O cerrado se localiza em uma região de clima quente, onde há uma estação seca, de duração variável, ocorrendo entre maio e setembro. No ano de estudo (2003), as chuvas chegaram mais cedo que o esperado, em final de agosto. A estação seca e quente propicia queimadas recorrentes na vegetação.

A manutenção de sistemas subterrâneos capazes de rebrotamento é um dos modos eficazes de resistência ao fogo. *B. gaudichaudii* apresenta xilopódio para sobreviver às queimadas do cerrado, uma vez que suas partes aéreas não oferecem resistência ao fogo, ao contrário de outras árvores desse ambiente que produzem casca espessa, funcionando como isolante térmico, protegendo meristemas das altas temperaturas.

Nas florestas úmidas (Amazônia e Mata Atlântica) são encontradas várias espécies do gênero *Brosimum*, inclusive *B. gaudichaudii*. O fato de a parte aérea da espécie não resistir ao fogo sugere que, no passado, tratava-se de uma espécie típica de florestas úmidas, porém, a presença de um xilopódio e a capacidade de rápido crescimento radicular tornaram-na apta a sobreviver à seca anual e às queimadas naturalmente recorrentes no cerrado, onde é uma espécie bastante encontrada.

Nesse sentido, um dos aspectos mais incomuns dessa espécie é o fato de tratar-se de uma árvore xilopodiófora com contínuo brotamento de novos caules. Para que o xilopódio consiga emitir novos brotos em caso de perda da parte aérea, portanto, durante uma situação em que a planta não fotossintetize, pela ausência das folhas, é necessário que tenha havido formação de reservas nutritivas na raiz, nesse caso, o amido. Por sua vez, o tecido macio da raiz oferece facilidade ao acúmulo de água, enfrentando outro desafio do clima do cerrado, a seca anual. Ora, um tecido vegetal tenro e rico em amido sofreria predatismo fácil. Dessa forma, a alta concentração de um metabólito tóxico nas raízes – as cumarinas – protegeria a planta de predatismo. O intercâmbio científico com a UFMS foi interessante no sentido de sustentar essa idéia, uma vez que nem caule, folhas ou o próprio látex apresentam cumarinas em concentrações significativas.

Não só o aspecto geral da planta se assemelha ao de *Morus*, o gênero-tipo da família, como igualmente em *Morus*, a maioria da população adulta tem porte arbustivo, havendo alguns indivíduos que alcançam porte arbóreo. A densidade do lenho na espécie segue a tendência das Moraceae em apresentar madeiras leves, teoricamente interessantes para a produção de papel, ressaltando-se que algumas espécies da família apresentam lenho muito denso. Igualmente, as características dos elementos de vaso e dos elementos de tubo crivado foram as mesmas para o observado na família, indicando tratar-se de plantas evoluídas na escala filogenética.

Foi interessante poder correlacionar a estrutura macroscópica com a microscópica. Desde à macroscopia, o lenho de caule e de raiz são diferentes: este, odorífero e de cor bege; aquele, branco, inodoro, contendo, às vezes, um pequeno cerne vermelho. As diferentes densidades do lenho de casca e de raiz se traduziram em diferenças significativas na estrutura anatômica. O índice kappa observado corrobora que as diferenças não só são significativas como facilmente perceptíveis a olhos treinados em anatomia vegetal. Contudo, tais dados apresentam validade interna, isto é, para os exemplares estudados. Para a espécie como um todo, seria interessante uma amostragem de espécimes de várias regiões para uma diferenciação mais efetiva.

A abundância de látex no sistema subterrâneo é explicada pela continuo crescimento de laticíferos no floema recentemente formado, enquanto no caule, novos laticíferos não são formados, donde a escassez conforme o progressivo desenvolvimento. Por sua vez, embora, à macroscopia, a casca de raiz e de caule fosse muito diferente, a estrutura anatômica diferiu apenas no detalhe dos laticíferos, tendo apresentado ambas a mesma estrutura.

Ao termos abordado essa planta de interesse econômico, pudemos nos deparar com o descaso com que o precioso cerrado tem sido tratado nesses seis séculos de maciça ocupação humana. Não só aspectos macroscópicos relevantes e facilmente perceptíveis ficaram despercebidos por mais de um século, como foi nítida, na literatura, a perda de conhecimentos mais antigamente gerados, como a questão da época de floração.

Da mesma forma, a observação sistemática de vários indivíduos e a correlação entre a macroscopia e a microscopia permitiram corrigir algumas distorções presentes em estudos mais antigos: sóbols não foram observados na espécie; o cerne, vermelho, ocorre somente

em plantas mais velhas, demorando a formar-se laticíferos não estão presentes no lenho secundário.

Por fim, o cultivo de sementes em tubos de PVC oferece uma boa perspectiva não só para o aprofundamento do estudo de plantas jovens da espécie como aparentemente se trata de uma boa estratégia para seu cultivo em maior escala.

Bibliografia

- ABDALA, G; CALDAS, L; HARIDASAN, M; EITEN, G. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology** v. 2, n. 1, p. 11-23, 1998.
- AGUIAR, L; MATOS, F; MOURA, V. Atividade antibiótica de plantas medicinais da flora nordestina. **Acta Amazonica**, Supl, v. 18, n.1-2, p. 89-90, 1988.
- ALFIERI, F; KEMP, R. The seasonal cycle of phloem development in *Juniperus californica*. **American Journal of Botany**, v. 70, n.6, p. 891-896, 1983.
- ALMEIDA, S ; PROENÇA, C; SANO, S; RIBEIRO, J. **Cerrado: Espécies Vegetais Úteis**. Brasília: Embrapa-Planaltina, 1998, p. 81-85.
- ALONI, R; SACHS, T. The three-dimensional structure of primary phloem strands. **Planta** v. 113, p. 345-353, 1973.
- ALONI, R; PETERSON, C. The functional significance of phloem anastomoses in stems of *Dahlia pinnata* Cav. **Planta** v. 182, p. 583-590, 1990.
- ALVES, E; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. **IAWA Journal** v. 21, n. 1, p. 3-30, 2003.
- ANGELY, J. **Dicionário de Botânica**. Curitiba: Instituto Paranaense de Botânica, 1959.
- ANGYALOSSY-ALFONSO, V; RICHTER, H. Wood and bark anatomy of *Buchenavia* Eichl. (Combretaceae). **IAWA Journal** v. 12, n. 2, p. 123-141, 1991.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B; ESTELITA, M. The developmental anatomy of the subterranean system in *Mandevilla illustris* (Vell.) Woodson and *M. velutina* (Mart ex Stadelm.) Woodson (Apocynaceae) **Revista Brasileira de Botânica** v. 23, n.1, p. 27-35, 2000.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. **Morfologia de Sistemas Subterrâneos: Histórico e Evolução dos Conhecimentos no Brasil**. Ribeirão Preto: A.S.Pinto, 2003.
- ARCHER, R; VANWYK, A. Bark structure and intergeneric relationships of some southern African Cassinoideae (Celastraceae) **IAWA Journal** v. 14, n.1, p.35-53, 1993.
- ARCHER, R; VANWYK, A. Bark structure and intergeneric relationships of some Southern African Cassinoideae (Celastraceae). **IAWA Journal** v. 14, n.1, p. 35-53, 1993.
- AOKI, H; SANTOS, J. Características dos estratos arbustivo e arbóreo do Distrito Federal. **Silvicultura em São Paulo (Anais do Congresso Nacional sobre Essências Nativas)** v. 16 A, n. 1, p.629-639, 1982.
- AUAD, A. Diagnose e terapêutica do vitiligo. **Atualidades Médicas**, v. 9, n. 9, p. 85-88, 1973.
- AZAMBUJA, R. Tratamento de vitiligo. **Brasília Médica**, v. 18, n. 33-4, p. 69-73, 1981.
- BEIGUELMAN, B. **Curso Prático de Bioestatística**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1988.
- BERG, C. **Flora Neotropica: Monograph n 7**. Nova Iorque: Hafner Publishing Company, 1972, p. 157-187.

- BIGGS, A. Suberized boundary zones and the chronology of wounded response in tree bark. **Phytopathology**, v. 75, n.11, p.1191-1195, 1985.
- BOWEN, B; PATE, J. The significance of root starch in post-fire shoot recovery of the resprouter *Stirlingia latifolia* R. Br. (Proteaceae). **Annals of Botany** v.72, n.1, pp 7-16, 1993.
- BONNETT, H; TORREY, J. Comparative anatomy of endogenous bud and lateral root formation in *Convolvulus arvensis* roots cultured *in vitro*. **American Journal of Botany** v. 53, n. 5, p. 496-507, 1966.
- BOSELA, M; EWERS, F. The mode of origin of root buds and root sprouts in the clonal tree *Sassafras albidum* (Lauraceae). **American Journal of Botany** v. 84, n. 11, p. 1466-1481, 1997.
- BOZZOLA, J; RUSSELL, L. **Electron Microscopy**. Boston (EUA): Jones and Bartlett Publishers, 1992.
- BRENNAN, P; SILMAN, A. Statistical methods for assessing observer variability in clinical measures. **British Medical Journal** v. 304, p. 1491-1494, 1993.
- BUCHER, J. **Aspectos de Conservação *in vitro* e Micropropagação de *Brosimum gaudichaudii***. Dissertação de Mestrado em Botânica. Universidade de Brasília. Brasília, 2002.
- CANTONA, M; CAFFIERIB, S; DALL'ACQUAB, F; LISA, F. PUVA-induced apoptosis involves mitochondrial dysfunction caused by the opening of the permeability transition pore. **FEBS Letters** v. 522, n. 1-3, p.168-172, 2002.
- CARDOSO, C; VILEGAS, W; HONDA, N. Quantitative determination of furanocoumarins in samples of Carapiá by capillary gas chromatography. **Chromatographia** v. 50, n. 1-2, p. 11-14, 1999.
- CARDOSO, C; HONDA, N; BARISON, A. Simple and rapid determination of psoralens in topic solutions using liquid chromatography. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis** v. 27, p. 217-224, 2002a.
- CARDOSO, C; VILEGAS, W; BARISON, A; HONDA, N. Simultaneous determination of furanocoumarins in infusions and decoctions from Carapiá (*Dorstenia sp*) by high-performance liquid chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 50, n. 6, p. 1465-1469, 2002b.
- CECCANTINI, G; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Perforated ray cells in *Bathysa meridionalis* (Rubiaceae). **IAWA Journal** v. 21, n. 1, p. 77-82, 2000.
- CRAFTS, A; CRISP, C. **Phloem Transport in Plants**. São Francisco (EUA): W.H.Freeman Co., 1971.
- COPANT - COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira**. Colômbia, 1973, 19 p.
- COSTA, C; CORADIN, V; CZARNESKI, C; PEREIRA, B. Bark anatomy of arboresecent leguminosae of cerrado and gallery forest of central Brazil. **IAWA Journal** v. 18, n. 4, p. 385-399, 1997.
- CUNHA, M; COSTA, C; MACHADO, R; MIGUENS, F. Distribution and differentiation of the laticifer system in *Chamaesyce thymifolia* (L.) Millsp. (Euphorbiaceae). **Acta Botanica Neerlandica** v. 47, n. 2, p. 209-218, 1998.
- CUTTER, E. **Anatomia Vegetal – parte I e parte II**. São Paulo: Editora Roca, 1987.
- DAVIS, J; EVERT, R. Seasonal development of the secondary phloem in *Populus tremoides*. **Botanical Gazette**, v. 129, n. 1, p. 1-8, 1968.

DAVIS, J; EVERT, R. Seasonal cycle of phloem development in woody vines. **Botanical Gazette**, v. 131, n.2, p.128-138, 1970.

DIAWARA M; WILLIAMS D; OGANESIAN A; SPITSBERGEN, J. Dietary psoralens induce hepatotoxicity in C57 mice. **Journal of Natural Toxins**; v. 9, n.2, p.179-195, 2000.

DUKE, J. On tropical tree seedlings. **Annals of the Missouri Botanic Garden**, v. 56, n. 2, p. 125-161, 1969.

ECKBLAD, J. How many samples should be taken? **Bioscience** v. 41, n. 5, p. 346-348, 1991.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review** v. 38, p. 201-341, 1972.

ESAU, K; KOSAKAI, H. Laticifers in *Nelumbo nucifera* Gaertn.: distribution and structure. **Annals of Botany** v. 39, p. 713-719, 1975.

ESAU, K. **Vascular Differentiation in Plants**. EUA: Holt, Rinehart and Winston Inc., 1965.

ESAU, K. **The Phloem**. Handbuch der Pflanzenanatomic. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 1969.

ESAU, K. **Anatomia das Plantas com Sementes**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 5ª reimpressão, 1984.

EVERT, R. Ontogeny and structure of the secondary phloem in *Pyrus malus*. **American Journal of Botany**, v. 50, n.1, p. 8-37, 1963.

FAHN, A. **Secretory Tissues in Plants**. Londres: Academic Press, 1979.

FEDALTO, L; MENDES, I; CORADIN, V. (1989) **Madeiras da Amazônia. Descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós**. Brasília: Ministério do Interior/IBAMA, 1989.

FERREIRA, M. Nativos do DF: gabioba, araçás, amoreira e cajus. **Cerrado** v. 5, n. 19, p. 25-28, 1973.

FIDELIS, I. **Micropropagação de mamacadela (*Brosimum gaudichaudii*), uma espécie medicinal**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

FIDELIS, I; CASTRO, E; PINTO, J; GAVILANES, M; SANTIAGO, E. Características anatômicas de estruturas vegetativas de *Brosimum gaudichaudii* desenvolvidas *in vitro* e *in vivo*. **Ciência e Agrotecnologia** v. 24, n.2, p. 327-336, 2000.

FIGUEIREDO, R. Sobre a anatomia dos órgãos vegetativos de *Ocimum nudicaule* Benth. (Labiatae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências** v. 44, n.3/4, p. 549-570, 1972.

HAGERMAN, A; RIEDL, K; JONES, A; SOVIK, K; RITCHARD, N; HARTZFIELD, P; RIECHEL, T. High molecular weight plant polyphenolics as biological antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 46, n. 5, p. 1887-1892, 1998.

HERINGER, E; PAULA, J. Anatomia do lenho secundário de *Annona glabra* L. (Annonaceae). **XXV Congresso Nacional de Botânica**. Mossoró (RN): Anais da Sociedade Botânica do Brasil, 1974, p. 29-44.

HOULT, J; PAYA, M. Pharmacological and biochemical actions of simple coumarins. **Genetics and Pharmacology** v. 27, n. 4, pp 713-722, 1996.

HUANG, S; STERLING, C. Laticifers in the bulb scales of *Allium*. **American Journal of Botany** v.57, n.8, p. 1000-1003, 1970.

IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 221-359, 1989.

IBAMA. **Madeiras da Amazônia: Características e Utilização. Volume 3: Amazônia Oriental.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

IQBAL, M. **The Vascular Cambium.** Somerset (Inglaterra): Research Studies Press, 1990.

JACKSON, P; MEINZER, F; BUSTAMANTE, M; GOLDSTEIN, G; FRANCO, A; RUNDEL, P; CALDAS, L; IGLER, E; CAUSIN, F. Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian cerrado ecosystem. **Tree Physiology** v. 19, p. 717-724, 1999.

JOHANSEN, D. **Plant Microtechnique.** McGraw-Hill Book Company, New York, 1940.

JOLY, A. **Botânica: Introdução à Taxonomia Vegetal.** Editora Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 232-236, 1975.

JUNIKKA, L. Survey of English macroscopic bark terminology. **IAWA Journal** v. 15, n. 1, p. 3-45, 1994.

KALALITE, M; OSKOLSKA, A; RICHTER, H; SCHIMITT, U. Bark anatomy and intercellular canals in the stem of *Delarbrea paradoxa* (Araliaceae). **IAWA Journal** v. 24, n. 2, p. 139-154, 2003.

KANEGAE, M; BRAZ, V; FRANCO, A. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica** v. 23, n. 4, p. 457-466, 2000.

KOEK-NOORMAN, J; TOPPER, S; TER WELLE, B. The systematic wood anatomy of the Moraceae (Urticales) II. Tribe Dorsteniaceae. **IAWA Bulletin** v.5, n.4, p. 317-329, 1984.

KRAUS, J; ARDUIN, M. **Manual Básico de Métodos em Morfologia Vegetal.** Seropédica (RJ): Editora Universidade Rural, 1997.

LABOURIAU, L; VÁLIO, I; HERINGER, E. Sobre o sistema reprodutivo de plantas do cerrado. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 36, n. 4, p. 450-464, 1964.

LANDIS, J; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics** v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LAWTON, D; NEWMAN, Y. Ultrastructure of phloem in young runner-bean stem: discovery, in old sieve elements on the brink of collapse, of parietal bundles of p-protein tubules linked to the plasmalemma. **New Phytologist** v. 82, n.1, p. 213-222, 1979.

LEV-YADUN, S. Terminology used in bark anatomy: additions and comments. **IAWA Bulletin** v. 12, n. 2, p. 207-209, 1991.

LINDMAN, C; FERRI, M. **A Vegetação no Rio Grande do Sul.** Editora Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

LLANO, J; JOHAN, B; ERIKSSON, L. Theoretical study of phototoxic reactions of psoralens. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry** v.154, n. (2-3) p. 235-243, 2003.

LOURENÇO, M. **Estudo Comparativo dos Constituintes Químicos de *Brosimum gaudichaudii* Trécul e de medicamento V.** Tese de Doutorado em Química. Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

MACHADO, M; MENDES, I; CALDAS, L. Metabolismo secundário e produtos naturais, in: FARIA, C; CALBO M; CALDAS L. (eds). **Textos Universitários: Guia de Estudos para Fisiologia Vegetal.** Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

- MACHADO, J; PARENTE, T. Germinação de seis espécies frutíferas nativas do cerrado em condições de campo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 8, n. 1, p. 35-38, 1986.
- MACHADO, J; PARENTE, T; LIMA, R. Informações sobre germinação e características físicas das sementes de fruteiras nativas do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 8, n.2, p. 59-62, 1986.
- MACHADO, S; ANGYALOSSY-ALFONSO, V; MORRETES, B. Comparative wood anatomy of root and stem in *Styrax camporum* (Styracaceae). **IAWA Journal** v. 18, n. 1, p. 13-25, 1997.
- MAHLBERG, P. Development of non-articulated laticifer in seedling axis of *Nerium oleander*. **Botanical Gazette** v. 124, p. 224- 231, 1963.
- MAHLBERG, P. Evolution of the laticifer in *Euphorbia* as interpreted from starch grain morphology. **American Journal of Botany** v. 62, n.6, p. 577-583, 1975.
- MAHLBERG, P; SABHARWAL, P. Mitotic waves in laticifers of *Euphorbia marginata*. **Science** v. 152, p. 518-519, 1966.
- MARCATI, C; ANGYALOSSY-ALFONSO, V; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Cesalpinioideae) de floresta e cerrado. **Revista Brasileira de Botânica** v. 24, n. 3, p. 311-320, 2001.
- MARTINS, M. **Micropropagação de mamacadela (*Brosimum gaudichaudii*), uma espécie medicinal do cerrado**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 1998.
- McCULLY, M. The development of lateral roots. in: TORREY, J; CLARKSON, D. (eds) **The Development and Function of Roots**. Academic Press, Londres, 1975.
- MELHEM, T. Pollen grains of plants of the cerrado. XII- Cucurbitaceae, Menispermaceae and Moraceae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 38, n 1, p. 195-203, 1966.
- MENEZES, N; HANDRO, W; CAMPOS, J. Estudos anatômicos em *Pfaffia jubata* Mart. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras da Universidade de São Paulo- Série Botânica**, n. 331, p. 197-237, 1969.
- MILANEZ, F. Ontogênese dos laticíferos do caule de *Euphorbia phosphorea* Mart. **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 12, n. 1, p. 17-35, 1953.
- MONTEIRO, V. **Estudo fitoquímico de *Brosimum gaudichaudii* Trécul**. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos (RJ), 1998.
- NESSLER, C; MAHLBERG, P. Ontogeny and cytochemistry of alkaloidal vesicles in laticifers of *Papaver somniferum* L. (Papaveraceae). **American Journal of Botany** v. 64, n.5, p. 541-551, 1975.
- OLIVEIRA, D. Morfologia comparada de plântulas e plantas jovens de leguminosas arbóreas nativas: espécies de Phaseolaceae, Sophoreae, Swartziaceae e Tephrosiaceae. **Revista Brasileira de Botânica** v. 24, n.1, p. 85-97, 2001.
- OLIVEIRA, P; SILVA, J. Reproductive biology of two species of *Kielmeyera* (Guttiferae) in the cerrados of Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology** v. 9, n. 1, p. 67-79, 1993.
- OUTER, R; VEENENDAAL, W. Wood and bark anatomy of *Azima tetraacantha* Lam. (Salvadoraceae) **Acta Botanica Neerlandica** v. 30, n.3, p. 199-207, 1981.

PARTHASARATHY, M. Longevity of sieve elements. In: ZIMMERMANN, M; MILBURN, J. **Transport in Plants – I. Phloem Transport**. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series. vol. 1. Berlin: Springer-Verlag, 1975.

PAULA, J. Caracterização anatômica de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica** v. 33, n. 2, p. 243-262, 2003.

PAULA, J; ALVES, J. **Madeiras Nativas. Anatomia, Dendrologia, Dendrometria, Produção e Uso**. Brasília: Empresa Gráfica Gutenberg, 1997.

PAULA, J; CARDOSO, E. Anatomia e dendrometria da madeira de *Pterodon polygalaeiflorus* e *P. pubescens*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 30, n. 1, p. 15-29, 1995.

PAULA, J; HERINGER, E. Anatomia comparada das espécies *Annona glabra* L e a ocorrência de *A. salzmanii* DC (Annonaceae) ocorrentes no nordeste brasileiro. **Trabalhos do XXVI Congresso Nacional de Botânica**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1975, p. 465-474.

PAULILO, M; FELIPPE, G; DALE, J. Root/shoot partitioning and water relations in *Qualea grandiflora* (Vochysiaceae) seedlings under water stress. **Revista de Biologia Tropical** v. 46, n. 1, p. 41-44, 1998.

PAVIANI, T. Estudo morfológico e anatômico de *Brasilia sickii* G.M.Barroso. II: anatomia da raiz, do xilopódio e do caule. **Revista Brasileira de Biologia** v. 37, n. 2, p. 307-324, 1977.

PAVIANI, T. Anatomia vegetal e cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 30, n.9, p. 1076-1086, 1978.

PAVIANI, T. Anatomia do desenvolvimento do xilopódio de *Brasilia sickii* G.M.Barroso. estágio inicial. **Ciência e Cultura** v. 39, n.4, p. 399-405, 1987.

PAVIANI, T; HARIDASAN, M. Tuberosidade em *Vochysia thyrsoidea* Pohl (Vochysiaceae). **Ciência e Cultura**, v.40, n.10, p. 998-1003, 1988.

PEREIRA, K. **Micropropagação e Estudo Morfo-Anatômico do Endocarpo, Semente e Plântula de *Byrsonima basiloba* Juss.** Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade de Brasília, 2002.

PETERSON, R. The initiation and development of root buds, in: TORREY, J. CLARKSON, D. (eds) **The Development and Function of Roots**. Academic Press, Londres, 1975.

PIO CORRÊA, M. **Dicionário das Plantas Úteis do Brasil vol. I**. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 1926, p. 138.

POZETTI, G. Contribuição ao estudo químico do *Brosimum gaudichaudii* Trécul. 1- Isolamento e identificação do bergapteno e do psoraleno das raízes. **Revista da Faculdade de Farmácia e Odontologia de Araraquara**. v.3, n. 2, p. 215-223, 1969.

POZETTI, G; BERNARDI, A. Contribuição ao estudo químico de *Brosimum gaudichaudii* Trécul. 2- Ocorrência de bergapteno nos frutos. **Revista da Faculdade de Farmácia e Odontologia de Araraquara**, v.5, n. 2, p. 189-193, 1971.

POZETTI, G; GLAZZI, J; BERNARDI, A; CABRERA, A; YASSUDA, H. Ensaio de inibição do desenvolvimento larvar de ancilostomídeos pelas furocumarinas extraídas do *Brosimum gaudichaudii*: bergapteno e psoraleno. **Revista da Faculdade de Farmácia e Odontologia de Araraquara** v. 10, n.2, p. 221-223, 1976

PRENDERGAST, H. Papyrus, paper and paper making: a view of Kew's economic botany collections. **Curtis Botanical Magazine** v. 19, n. 2, p. 126-144, 2002.

- RAWITSCHER, F; RACHID, M. Troncos subterrâneos de plantas brasileiras. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** v. 18, n. 4, p. 261-280, 1946.
- RAJU, M; COUPLAND, R; STEEVES, T. On the occurrence of root buds on perennial plants in Saskatchewan. **Canadian Journal of Botany** v. 44, n.1, p. 33-37, 1966.
- RAVEN, P; EVERT, R; EICHHORN, S. **Biologia Vegetal** Rio de Janeiro: editora Gaunabara Koogan, 5ª edição, 1992.
- RIBEIRO, J; SILVA, J; BATMANIAN, G. Fitossociologia de tipos fisionômicos de cerrado em Planaltina. **Revista Brasileira de Botânica** v.8, n. 2, p. 131-142, 1985.
- RICHTER, H; MAZZONI-VIVEIROS, S; ALVES, E; LUCHI, A; COSTA, C. Padronização de critérios para a descrição anatômica da casca. **Instituto Florestal de São Paulo- Série Registros**, v.16, p. 1-25, 1996
- RIZZINI, C. O fator edáfico na formação do xilopódio de *Mimosa multipinna* Benth. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** v. 35, n.1, p. 75-77, 1963.
- RIZZINI, C. Estudos experimentais sobre o xilopódio e outros órgãos tuberosos de plantas do cerrado. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** v. 37, n. 1, p. 87-113, 1965.
- RIZZINI, C. **Árvores e Madeiras Úteis do Brasil. Manual de Dendrologia Brasileira**. Editora Edgard Blücher, 2ª ed, São Paulo, 1978.
- RIZZINI, C; HERINGER, E. Underground organs of plants from some southern Brazilian savannas, with special reference to the xylopodium. **Phyton- Revista Internacional de Botânica Experimental** v. 17, n. 1, p. 105-124, 1961.
- RIZZINI, C; HERINGER, E. Studies on the underground organs of trees and shrubs from southern Brazilian savannas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 34, n. 2, p. 235-247, 1962.
- ROSOWSKI, J. Laticifer morphology in the mature stem and leaf of *Euphorbia supina*. **Botanical Gazette** v. 129,n. 2, p. 113-120, 1968.
- ROTH, I. Características estruturales de la corteza de árboles tropicales en zonas húmedas. **Darwiniana** v. 15, n. 1-2, p. 115-127, 1969.
- ROTH, I. **Structural Patterns of Tropical Barks**. Handbuch der Pflanzenanatomie. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 1981.
- SACKETT, D. Uma cartilha sobre a precisão e exatidão do exame físico. **JAMA-Brasil Suplemento**, v. 3, n.1, p. 523-532,1993.
- SANO, S; ALMEIDA, S. **Cerrado: Ambiente e Flora**. Brasília: Embrapa, 1998
- SALES, D; ALBUQUERQUE, M; COELHO, M; PIMENTA, S; FAVALESSA, O. Germinação de sementes de *Brosimum gaudichaudii* Trécul submetidas a diferentes pré-tratamentos. **Acta Horticulturae** n. 569, p. 137-140, 2002.
- SCHOLZ, F; BUCCI, S; GOLDSTEIN, G; MEINZER, F; FRANCO, A. Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees. **Tree Physiology** v. 22, p. 603-612, 2002.
- SHELDRAKE, A. Cellulase in latex and its possible significance in cell differentiation. **Planta** v. 89, p. 82-84, 1969.

- SIQUEIRA, V; LOPES, A; AKISUE, M; AKISUE, G; PAIM, A. Aspectos anatômicos e morfológicos do sistema subterrâneo de *Puffia tuberosa* (Spreng) Hicken (Amaranthaceae). **Lecta-USF**, v. 11, n.1, p. 29-42, 1993.
- SOFFIATTI, P; ANGYALÓSSY-ALFONSO, V. Estudo anatômico comparativo do lenho e da casca de duas espécies de *Eugenia* L. (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n.2, p. 175-184, 1999.
- SPERA, S; REATOO, A; CORREIA, J; SILVA, J. Características físicas de um latossolo vermelho-escuro no cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 35, n. 9, p. 1817-1824, 2000.
- SRIVASTAVA, L. The secondary phloem in *Austrobaileya scandens*. **Canadian Journal of Botany**, v.48, p. 341-359, 1970.
- TIPPO, O. Comparative anatomy of the Moraceae and their presumed allies. **Botanical Gazette** v. 100, n. 1, p. 1-100, 1937.
- TROCKENBRODT, M. Survey and discussion of the terminology used in bark anatomy. **IAWA Bulletin** v. 11, n. 2, p. 141-166, 1990.
- TROCKENBRODT, M. Qualitative structural changes during bark development in *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula* and *Betula pendula*. **IAWA Bulletin** v.12, n. 1, p. 5-22, 1991.
- TRUGILHO, P; SILVA, D; FRAZÃO, F; REGAZZI, A. Caracterização de espécies nativas e exóticas amazônicas e do carvão vegetal. **Revista Árvore** v. 15, n. 2, p. 144-151, 1991.
- VASCONCELOS, A. **Estruturas da Natureza: um Estudo da Interface entre Biologia e Engenharia**. São Paulo: Studio Nobel, 2000.
- VANWYK, A. The genus *Eugenia* (Myrtaceae) in Southern Africa: structure and taxonomic value of bark. **South African Journal of Botany** v.51, n.3, p.157-180, 1985.
- VARANDA, E; POZETTI, G; LOURENÇO, M; VILEGAS, W; RADDIA, M. Genotoxicity of *Brosimum gaudichaudii* measured by the Salmonella/microsome assay and chromosomal aberrations in CHO cells. **Journal of Ethnopharmacology** v. 81, n. 2, p. 257-264, 2002.
- VEENENDAAL, W; OUTER, R. Distribution and development of the non-articulated branched laticifers of *Morus nigra* L. (Moraceae). **Acta Botanica Neerlandica** v. 39, n. 3, p. 285-296, 1990.
- VIEIRA, I; MATHIAS, L; MONTEIRO, V; BRAZ-FILHO, R; RODRIGUES, E. A new coumarin from *Brosimum gaudichaudii* Trécul. **Natural Products Letters** v. 13, n. 1, p. 47-52, 1999.
- VILEGAS, W; POZETTI, G; VILEGAS, J. Coumarins from *Brosimum gaudichaudii*. **Journal of Natural Products**, v.56, n. 3, p. 416-417, 1993.
- WHEELER, E; BAAS, P. Wood identification – a review. **IAWA Journal** v. 19, n. 3, p. 241-264, 1998.
- WHITMORE, T. Studies in systematic bark morphology. **New Phytologist** v. 61, p. 191-220, 1962.