

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

DIVINA APARECIDA ANUNCIÇÃO VILHALVA

**MORFO-ANATOMIA DE SISTEMAS SUBTERRÂNEOS DE
TRÊS ESPÉCIES DE ASTERACEAE DO CERRADO DO
ESTADO DE SÃO PAULO**

Orientadora: Dra. Beatriz Appezzato-da-Glória

Co-orientadora: Sandra Maria Carmello-Guerreiro

**Tese apresentada ao Instituto de
Biologia da Universidade Estadual
de Campinas para obtenção do
título de Mestre em Biologia
Vegetal.**

Campinas

2004

Banca Examinadora:

Beatriz Appezzato-da-Glória (Orientadora)

Marília de Moraes Castro (Titular)

Simone de Pádua Teixeira (Titular)

Kikyo Yamamoto (Suplente)

Data da defesa: 08 de março de 2004.

Dedicatória

*A Igor KopcaK, como forma de retribuir
todo carinho e amor recebido*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desse trabalho, em especial: à prof.^a Dra. **Beatriz Appezzato-da-Glória**, por ter aceito me orientar, no sentido amplo da palavra, tendo sido grande responsável por minha formação científica em Anatomia Vegetal.

À professora Dra. **Sandra Maria Carmello-Guerreiro**, pela amizade e co-orientação desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Botânica do Instituto de Biologia da Unicamp, dos quais destaco as prof.^{as} **Ângela Martins, Kikyo Yamamoto, Eliana Martins e Marília de Moraes Castro**.

As professoras **Marília de Moraes Castro, Kikyo Yamamoto e Simone de Pádua Teixeira**, pelas sugestões e críticas da Pré-banca.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, por ter possibilitado a realização do presente estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Projeto Biota/Cerrado (Processo 00/12469-3) e pela bolsa de Mestrado (Processo 01/12138-0).

Ao prof.^o **Vinícius Castro Souza** do Departamento de Ciências Biológicas ESALQ/USP pela identificação do material botânico.

Ao departamento de Ciências Biológicas da ESALQ/USP, pelas condições fornecidas para a execução desse trabalho no laboratório de Anatomia Vegetal.

À **Marli Kasue Misaki Soares** técnica do laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Ciências Biológicas ESALQ/USP, pelo apoio técnico sempre muito eficiente, com quem aprendi muito sobre a rotina de um laboratório.

À toda equipe do laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Ciências Biológicas ESALQ/USP, Juliana, Simone, João Paulo, Silvia e em especial à **Adriana Hissae Hayashi** pela constante troca de idéias e pela amizade.

Aos funcionários e técnicos do Departamento de Botânica do Instituto de Biologia da Unicamp, em especial ao **João Carlos** e **Sebastião Militão Junior** pelo apoio técnico.

Ao Sr. **José Zandoval** (Zé), pelo auxílio prestado durante as coletas de campo.

À Dra. **Denise Zanchetta**, responsável pela Estação Ecológica de Itirapina, do Instituto Florestal da Secretaria do Meio Ambiente, pela atenção dispensada e pela permissão da coleta do material botânico.

Ao proprietário da Fazenda “Palmeira da Serra,” pela autorização das coletas na área.

À **Márcia Cléia Vilela dos Santos**, companheira e amiga de todos os momentos.

Às amigas **Aneliza**, **Karina**, e **Raquel**, companheiras de pós-graduação pelo convívio sempre agradável e muito produtivo.

A **Paulo Augusto**, **Fabiana**, **Douglas** e **Giovani**, pelo carinho com que sempre me receberam em Piracicaba, cuja companhia agradável me foi muito importante.

Aos primos **Elias**, **Cristiane**, **Uiram** e **Sarah** pelas alegrias, motivação, companheirismo e convívio familiar.

A todos aqueles que mostraram-se compreensivos nos momentos em que eu e o Igor não podíamos estar presentes, em especial: aos meus pais, **Valeriano e Glória**; as minhas irmãs, **Glorisleyne**, **Edwiges Valéria**, **Paula Rúbia**; aos meus sobrinhos, **Francielly**, **Gabriel**, “**Juninho**” e **Matheus**; e aos meus sogros, **Antonio** e **Elza**.

ÍNDICE

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Sistemas Subterrâneos	5
2.2 Frutanos em Sistemas Subterrâneos	7
2.3 Asteraceae	8
2.3.1 Distribuição e posição hierárquica dos gêneros <i>Calea</i> L., <i>Isostigma</i> Less. e <i>Vernonia</i> Schreb.	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Material Botânico	11
3.2 Estudos Anatômicos	12
4. RESULTADOS	14
4.1 <i>Calea verticillata</i>	14
4.2 <i>Isostigma megapotamicum</i>	15
4.3 <i>Vernonia oxylepis</i>	16
5. DISCUSSÃO	18
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	25
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
FIGURAS	34

RESUMO

Várias espécies herbáceas de Cerrado apresentam sistema subterrâneo espessado, esses podem ser de natureza radicular, caulinar ou mista. Esses sistemas podem possuir potencial gemífero, promovendo a rebrota de ramos aéreos após um período desfavorável do ambiente, como uma seca prolongada ou uma queimada. A verificação da natureza dos sistemas subterrâneos é de extrema importância para utilização correta da terminologia dos mesmos. O objetivo desse trabalho foi fornecer informações sobre a morfo-anatomia dos sistemas subterrâneos de *Calea verticillata*, *Isostigma megapotamicum* e *Vernonia oxylepis*, com ênfase na formação de gemas caulinares. Os sistemas subterrâneos foram coletados em áreas de Cerrado do estado de São Paulo. A estrutura anatômica em *C. verticillata* é mista (caulinar e radicular), com auto-enxertia de ramos e raízes, enquanto em *I. megapotamicum* a estrutura é caulinar, com auto-enxertia entre os ramos. Ambas espécies são providas de xilopódios altamente gemíferos cujas gemas têm origem exclusivamente cambial. Nas duas espécies foi verificada a presença de canais secretores. *Vernonia oxylepis* possui uma raiz tuberosa e contráctil; as gemas originam-se nas camadas mais externas do periciclo proliferado. Os testes microquímicos revelam que esta raiz acumula grande quantidade de gotas lipídicas nas células parenquimáticas do periciclo proliferado. Em *I. megapotamicum* e *V. oxylepis* foi evidenciada a presença de cristais de inulina sob luz polarizada. Essas características potencialmente auxiliam na sobrevivência das espécies às condições adversas do Cerrado.

ABSTRACT

Several herbaceous species from the Cerrado have thickened subterranean systems, of radicular and/or caulinar nature. These systems have bud shoot-forming potential, providing the sprout of new shoots after an unfavourable period like severe drought or burning. The verification of the subterranean systems nature is extremely important to the correct terminology usage. The aim of this work was to study the morphology and anatomy of the subterranean systems of *Calea verticillata*, *Isostigma megapotamicum* and *Vernonia oxylepis*, with emphasis on the development of the shoot buds. The subterranean systems were collected from Cerrado areas of São Paulo State. The anatomical structure in *C. verticillata* is both caulinar and radicular, with self-grafting of both shoots and roots, although in *I. megapotamicum* the anatomical structure is caulinar, with self-grafting of shoots. Both species are composed of xylopodium with a high gemmiferous potential, whose buds are exclusively formed in the cambium. Secretory ducts occur in these species. *Vernonia oxylepis* presents a contractile tuberous root; the buds are formed in the outer parenchyma cells of the proliferated pericycle. The microchemical tests have showed that this root stores a large amount of oil droplets into the parenchyma cells of the proliferated pericycle. Crystals of inulin were observed by polarized light in *I. megapotamicum* and *V. oxylepis*. Potentially, these characteristics help the species to survive into the Cerrado adverse conditions.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado constitui um tipo peculiar de vegetação, sendo a terceira maior formação vegetal brasileira, cobrindo uma área que, segundo diversos autores, chega a abranger entre 20 e 25% do território nacional (Joly, 1970; Hueck, 1978; Ferri, 1980; Ratter *et al.*, 1997).

No estado de São Paulo, o Cerrado ocorre principalmente na região centro-norte (Toledo-Filho *et al.*, 1984). Originalmente, as diferentes formações de Cerrado recobriam cerca de 14% do território paulista. Entretanto, aerofotografias obtidas no período de 1971-1973 mostraram que em apenas 4,36% da área do estado ainda ocorria cobertura vegetal com fisionomia de Cerrado (Serra-Filho *et al.*, 1974). O ritmo intenso e desordenado de ocupação tem pressionado os ecossistemas naturais resultando, inevitavelmente, na redução da biodiversidade. Os valores atuais da vegetação de Cerrado são, certamente, bem menores e estão restritos, em sua maior parte, às áreas de propriedade do governo do Estado, particularmente as Estações Ecológicas de Moji-Guaçu, Itirapina e Jataí, além de pequenas áreas particulares dispersas (Leitão-Filho, 1992).

O gradiente fisionômico do Cerrado varia desde uma paisagem campestre (os campos limpos) até uma paisagem com aspecto florestal (os cerradões), intermediada pelos campos sujos, campos cerrados e Cerrado sentido restrito. A paisagem se complementa com as florestas ciliares ou de galerias ao longo dos cursos d'água que percorrem essas formações (Coutinho, 2002).

Dentro desse vasto gradiente fisionômico, uma característica comum num expressivo número de espécies nativas de Cerrado é a presença de sistemas subterrâneos espessados (Rachid, 1947; Rizzini & Heringer, 1961, 1962; Rizzini, 1965; Coutinho, 2002).

Em geral, tais sistemas possuem diferenças morfo-anatômicas e armazenam compostos de reserva (Figueiredo-Ribeiro *et al.*, 1986; Tertuliano & Figueiredo-Ribeiro, 1993; Dias-Tagliacozzo, 1995; Carvalho & Dietrich, 1996). Isso se verifica especialmente entre a vegetação herbácea e subarborescente, sendo uma importante adaptação para garantir a sobrevivência dessas espécies em períodos desfavoráveis (como queimadas ou secas prolongadas), visto que seus sistemas subterrâneos ocorrem nas camadas mais superficiais, não alcançando os lençóis d'água profundos como acontece com boa parte da vegetação lenhosa (Coutinho, 2002).

Com relação aos estudos morfológicos de sistemas subterrâneos de plantas do Cerrado, merecem atenção os pioneiros trabalhos de Rawitscher *et al.*, (1943), Rawitscher e Rachid (1946) e Rachid (1947), que relataram a capacidade dos sistemas subterrâneos no aproveitamento da água disponível no solo e o modo de vida das plantas. A presença de xilopódio, sistema subterrâneo descrito por Lindman em 1906, foi relatada em plantas do Cerrado desde os primeiros estudos (Rawitscher *et al.*, 1943; Rawitscher & Rachid, 1946; Rachid, 1947; Rizzini & Heringer, 1961, 1962, 1966; Rizzini, 1963, 1965), tendo sido interpretada como uma adaptação às condições de seca.

Rizzini (1965), analisando a regeneração de plantas do Cerrado, sujeitas à ação do fogo e do homem, ressaltou o papel da formação de gemas radiculares na sobrevivência das espécies, particularmente em regiões secas. Segundo o autor, ao contrário das sementes, as raízes gemíferas encontram-se protegidas no solo e mantêm conexão com o sistema subterrâneo, que lhes proporciona nutrição para seu desenvolvimento.

A ocorrência de sistemas subterrâneos gemíferos tem sido verificada principalmente em espécies do Cerrado e de campos rupestres, destacando-se estruturas como raízes

gemíferas, raízes tuberosas, xilopódios, sóboles e rizóforos (Rachid, 1947; Rizzini & Heringer, 1961, 1962, 1966; Rizzini, 1965; Paviani, 1977, 1978, 1987; Menezes *et al.*, 1969; Sajo & Menezes, 1986a, b; Appezzato-da-Glória & Estelita, 1995, 2000; Hayashi, 2003).

Em se tratando de levantamentos florísticos do estrato herbáceo-subarbusivo em áreas de Cerrado no Estado de São Paulo, destaca-se a família Asteraceae como a mais expressiva nos trabalhos realizados por Mantovani (1987), Mantovani & Martins (1993), Bertoncini (1996) *apud* Coutinho (2002), além de ter permanecido entre as de maior expressividade no estudo de Fantinati & Sano (2003).

Os sistemas subterrâneos espessados, além da grande importância ecológica que têm demonstrado, também apresentam frutanos como o principal composto de reserva, que é um dos carboidratos de maior ocorrência em plantas, superado apenas pelo amido e pela sacarose (Hendry & Wallace, 1993). Em especial, os frutanos do tipo inulina têm sido verificados principalmente em espécies de Asteraceae (Figueiredo-Ribeiro *et al.*, 1986).

Tertuliano & Figueiredo-Ribeiro (1993) estudaram 35 espécies de Asteraceae providas de órgãos subterrâneos espessados ou não, quanto à presença de água e frutanos. Porém, pouco se sabe sobre a capacidade de propagação dessas espécies e sobre a terminologia correta dos sistemas subterrâneos.

Constata-se, também, que embora muitas das adaptações estruturais das plantas de Cerrado sejam conhecidas, as informações são limitadas a poucas espécies. Portanto, os objetivos desse trabalho foram:

- descrever a estrutura e definir a terminologia correta dos sistemas subterrâneos de *Calea verticillata* (Klatt) Pruski, *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff e *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart. ex Baker (Asteraceae).
- verificar a potencialidade na formação e determinar a origem das gemas caulinares presentes nesses sistemas e,
- detectar a ocorrência de cristais de inulina nos sistemas subterrâneos;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas Subterrâneos

Cerca de cinquenta por cento da vegetação herbácea e subarborescente do Cerrado apresenta órgão subterrâneo espessado, o que sugere a importância ecológica dessas estruturas (Mantovani, 1988).

Dentre os trabalhos sobre anatomia de sistemas subterrâneos no Brasil, merecem destaque os de Menezes *et al.*, 1969; Figueiredo, 1972; Paviani, 1972, 1977, 1978, 1987; Paviani & Haridasan, 1988; Appezzato-da-Glória & Estelita, 1995, 2000, Appezzato-da-Glória, 2003 e Hayashi, 2003.

A ocorrência de sistemas subterrâneos tem sido verificada principalmente em espécies de formações campestres e Cerrados, destacando-se as estruturas como xilopódios, raízes gemíferas, raízes tuberosas, sóboles e rizóforos. A presença de xilopódio desde os primeiros estudos foi relatada em plantas do Cerrado (Rawitscher *et al.* 1943; Rawitscher & Rachid 1946; Rachid 1947; Rizzini & Heringer, 1961, 1962, 1966; Rizzini 1963, 1965), tendo sido interpretada como uma adaptação às condições de seca.

O sistema subterrâneo de *Brasilia sickii* G. M. Barroso apresenta estrutura anatômica complexa e somente um estudo ontogenético detalhado conseguiu explicar o aspecto estrutural adulto (Paviani, 1978). A autora observou que, nesta espécie, o sistema subterrâneo pode ser considerado como uma unidade morfológica, mas não anatômica e que a complexidade do mesmo relaciona-se ao seu grande potencial gemífero.

A função primária do órgão subterrâneo é a de estocar alimento e água para a estação de crescimento, assim assegurando a sobrevivência das espécies. Além disto, os

órgãos subterrâneos também têm função de multiplicação de indivíduos novos e ainda podem ser utilizados como forma de resistência da espécie às condições adversas do meio (Almeida, 1997).

Segundo Figueiredo (1972), a presença de gemas no sistema subterrâneo de *Ocimum nudicaule* pode ser interpretada como um caráter adaptativo e permite a reprodução vegetativa da espécie.

Os xilopódios originalmente descritos por Lindman (1906), caracterizam-se pela sua complexidade estrutural, consistência extremamente rígida e capacidade gemífera, podem ter formas muito variáveis: podendo ser globosos, cilíndricos ou mesmo sem forma definida (Apezato-da-Glória, 2003).

Segundo Rizzini e Heringer (1961), a capacidade de produção de gemas é uma característica marcante dos xilopódios. A emissão de gemas e formação de ramos aéreos estaria associada às alterações ambientais, as quais estimulariam esse processo (Rizzini & Heringer 1966). Esses mesmos autores mostraram o quanto é freqüente a reprodução vegetativa no Cerrado por meio de sóboles (sistemas difusos de natureza caulinar) e de raízes gemíferas (sistemas difusos de natureza radicular).

Em condições naturais, *Mandevilla velutina* e *M. illustris* produzem novos ramos a partir do xilopódio e, esporadicamente, a partir da porção proximal da raiz tuberosa (Apezato-da-Glória & Estelita-Teixeira, 1995, 2000).

Apezato-da-Glória (2003), reuniu os diversos trabalhos sobre sistemas subterrâneos em seu livro intitulado “Morfologia de sistemas subterrâneos: histórico e evolução do conhecimento no Brasil”. Esse livro é uma importante referência, pois traz uma completa revisão bibliográfica dos principais trabalhos de sistemas subterrâneos e

definições dos diferentes tipos de sistemas existentes.

Em contribuição aos estudos de sistemas subterrâneos Hayashi (2003), descreveu a morfo-anatomia de oito espécies herbáceo-subarborescentes de Asteraceae ocorrentes no Cerrado de São Paulo, no qual a autora enfatizou a origem das gemas caulinares presentes nesses sistemas.

2.2 Frutanos em sistemas subterrâneos

Os frutanos são reconhecidos como uma classe de carboidratos vegetais há aproximadamente 200 anos e, depois do amido e da sacarose, são os de maior ocorrência em plantas (Hendry & Wallace, 1993).

Várias espécies vegetais apresentam frutanos, sobretudo as que pertencem às Asteraceae e Poaceae (Hendry & Wallace, 1993). Frutanos do tipo inulina já foram encontrados em diversos órgãos subterrâneos espessados, principalmente em espécies de Asteraceae (Figueiredo-Ribeiro *et al.*, 1986), mas podem também ser encontrados em menor quantidade em caules, folhas, inflorescências, frutos e sementes (Meier & Reid, 1982; Figueiredo-Ribeiro *et al.*, 1992).

Em levantamentos realizados no Cerrado brasileiro, tem-se verificado que diversas espécies possuem órgãos subterrâneos de reserva que acumulam grandes quantidades de frutanos (Figueiredo-Ribeiro *et al.*, 1986; Tertuliano & Figueiredo-Ribeiro, 1993; Dias-Taglicozzo *et al.*, 1999). Os frutanos foram identificados como o principal carboidrato de reserva dos órgãos subterrâneos espessados em 60% das espécies herbáceas de Asteraceae ocorrentes no Cerrado da Reserva Biológica e Estação Experimental de Mogi Guaçu (Tertuliano & Figueiredo-Ribeiro, 1993).

Segundo alguns autores (Pontis 1990 *apud* Tertuliano & Figueiredo-Ribeiro 1993), os frutanos apresentam outras funções além das de fonte de energia ou de carbono de reserva. Eles também estariam relacionados à tolerância de algumas espécies sujeitas a estresses ambientais, principalmente o Cerrado, onde pode haver secas prolongadas ou queimadas sendo, portanto, uma estratégia adaptativa das plantas às condições adversas do ambiente, por meio da reserva de inulina (Melo-de-Pinna, 2000).

Do ponto de vista econômico, frutanos do tipo inulina são usados comercialmente para fins alimentícios e medicinais (Carvalho, 1991). Esses carboidratos são passíveis de aproveitamento, sobretudo após a hidrólise, pois a frutose pode substituir com vantagem a sacarose, sendo menos calórica, além do fato de que seu metabolismo nos seres humanos independe da insulina, o que a torna um adoçante alternativo para diabéticos (Dietrich *et al.*, 1988).

2.3 Asteraceae

Esta família é de distribuição cosmopolita, encontrada em ambientes secos e/ou em locais elevados, constitui o maior grupo dentre as angiospermas com cerca de 1.535 gêneros e 23.000 espécies, representando cerca de 10 % da flora mundial (Bremer, 1994).

A maioria dos representantes das Asteraceae é de hábito herbáceo, subarbustivo ou arbustivo e, raramente, arbóreo ou escandente. As espécies são altamente diversificadas, principalmente em habitat, forma de vida, métodos de polinização e dispersão de sementes (Cronquist, 1981).

Vários membros dessa família, segundo Metcalfe & Chalk (1950), possuem valor econômico na alimentação, na medicina, na fabricação de cosméticos, são fontes de

extração comercial de borracha e são cultivadas como plantas ornamentais ou para a produção de óleo (Melo-de-Pinna, 2000).

2.3.1 Distribuição e posição hierárquica dos gêneros *Calea* L, *Isostigma* Less. e *Vernonia* Schreb.

O Gênero *Calea* L. apresenta cerca de 110 espécies que ocorrem em regiões tropicais e subtropicais do Novo Mundo, principalmente no Nordeste da América do Sul e Brasil (Magenta, 1998).

Posição hierárquica da espécie *Calea verticillata*

Família: Asteraceae

Subfamília: Asteroideae

Tribo: Heliantheae

Gênero: *Calea*

Espécie: *Calea verticillata*

Isostigma Less. é um gênero Sul-americano, com 11 espécies. Segundo Magenta, 1998 a espécie *Isostigma megapotamicum* é uma nova combinação para a espécie *Isostigma peucedanifolium* (Spreng.) Less.

Posição hierárquica da espécie *Isostigma megapotamicum*

Família: Asteraceae

Subfamília: Asteroideae

Tribo: Heliantheae

Gênero: *Isostigma*

Espécie: *Isostigma megapotamicum*

O gênero *Vernonia* é o mais extenso da tribo Vernonieae Cass., cerca de 500 espécies e se encontra amplamente distribuída em regiões tropicais, Ásia, África e América (Bremer, 1994).

Posição hierárquica da espécie *Vernonia oxylepis*

Família: Asteraceae

Subfamília: Cichorioideae

Tribo: Vernonieae

Gênero: *Vernonia*

Espécie: *Vernonia oxylepis*

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material Botânico

A escolha das espécies para este estudo foi baseada na listagem de Asteraceae que acumulam frutanos segundo o levantamento realizado por Tertuliano e Figueiredo-Ribeiro (1993). Sendo as espécies *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff (Sin. *Isostigma peucedanifolium*) e *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart. ex Baker pertencentes à listagem e a espécie *Calea verticillata* (Klatt) Pruski apresenta o gênero indicado na listagem (*Calea platylepis*).

Todos os indivíduos foram coletados em áreas de Cerrado do estado de São Paulo. As espécies *Isostigma megapotamicum* e *Vernonia oxylepis* foram coletadas numa área de campo sujo na Estação Ecológica de Itirapina entre os seguintes pontos de coordenadas 22° 13' 20" S e 47° 54' 13" W; 22° 13' 54" S e 47° 53' 49" W, a espécie *Vernonia oxylepis* também foi coletada no Cerrado Graúna, no município de Itirapina, no seguinte ponto de coordenada: 22° 15' 46" S e 47° 47' 58" W. *Calea verticillata* foi coletada numa área de Cerrado de uma propriedade particular "Fazenda Palmeira da Serra" no município de Pratânia (22° 48' 50.2" S e 48° 44' 35.8" W).

As espécies foram identificadas pelo especialista Dr. Vinicius Castro Souza e as exsicatas registradas e incorporadas ao acervo do Herbário da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, com os seguintes registros, *Calea verticillata* ESA 83397; *Isostigma megapotamicum* ESA 83398 e *Vernonia oxylepis* ESA 83396, 83399, 83400 e 84359.

3.2 Estudos anatômicos

A análise anatômica foi realizada mediante coleta e fixação dos sistemas subterrâneos em FAA (Sass, 1951). Para melhor fixação, as amostras foram levadas a uma bomba de vácuo para a retirada do ar contido nos espaços intercelulares. As secções (transversais e longitudinais) foram feitas à mão-livre e em micrótomo de deslize (150-200 µm de espessura), clarificadas com hipoclorito de sódio a 20%, lavadas em água destilada, coradas com azul de astra e safranina aquosa (Gerlach, 1969), desidratadas em série etílica, acetato de butila 50% e 100% e montadas em resina sintética “Entellan”.

Para determinar a origem das gemas, porções contendo gemas foram retiradas do sistema subterrâneo, fixadas em solução FAA (Sass, 1951) e levadas a uma bomba de vácuo. Após a fixação, as amostras foram desidratadas em série etílica, infiltradas com a resina plástica (Leica Historesin), os blocos obtidos foram seccionados a 5µm de espessura. O material foi corado com azul de toluidina 0,05% em tampão fosfato e ácido cítrico pH 4,5 (Sakai, 1973) e as lâminas montadas em resina sintética “Entellan”.

Os testes microquímicos foram realizados utilizando-se secções de material fixado e não-fixado dos sistemas subterrâneos das três espécies estudadas. As secções foram feitas à mão-livre, com auxílio de lâmina de barbear e em micrótomo de deslize. A presença de substâncias lipídicas foi visualizada pelo emprego de Sudan IV e Sudan Black B (Jensen, 1962). A presença de amido foi verificada pelo Cloreto de Zinco Iodado (Strasburger, 1913) e pela observação de material não-fixado no microscópio com luz polarizada; a presença de compostos fenólicos pelo emprego de Cloreto Férrico (Johansen, 1940) e a presença de proteínas totais foi verificada por Aniline Blue Black (Fisher, 1968) e a

presença de lignina foi evidenciada por meio da Floroglucina em meio ácido (Johansen, 1940). As lâminas foram montadas com o próprio reagente ou corante, ou em água destilada.

Para visualizar substâncias pécticas, lâminas contendo secções de material fixado em FAA 50 e incluído em historesina foram coradas com corifosfina (Weis et al. 1988) e montadas em “Entelan” e as observações foram realizadas com microscópio de fluorescência modelo Leica DM LB, equipado com uma lâmpada de mercúrio HBO 50 com filtro I₃, BP 450-490nm (comprimento de onda). Fotomicrografias foram tiradas com o filme Ektachrome 64T para as análises em campo claro e com o filme Ektachrome 400 para imagens fluorescentes.

Para a detecção dos cristais de inulina, as amostras foram submetidas à álcool etílico 70% por 2 a 4 dias, sendo os cortes, observados em microscópio de luz polarizada. Após a observação dos cristais de inulina, para que os mesmos fossem dissolvidos foi acrescentada sob os cortes uma gota de timol 15% em solução alcoólica e uma gota de ácido sulfúrico concentrado, conforme a técnica descrita por Johansen, 1940.

As fotomicrografias dos materiais preparados em lâminas foram feitas em fotomicroscópio, com as escalas micrométricas fotografadas e ampliadas nas mesmas condições ópticas utilizadas. A morfologia dos sistemas subterrâneos foi documentada por meio de fotografias com máquina Nikon EOS 100 e máquina digital Cânon Powershot A200.

4. RESULTADOS

4.1 *Calea verticillata*

Nesta espécie (Figuras 1 a 5), o sistema subterrâneo é constituído pelo xilopódio curto que emite raízes adventícias espessadas, esse sistema está localizado nas camadas superficiais do solo, possui consistência lenhosa e formato ovóide (5,0 cm de comprimento e 3,5 cm de largura). As gemas ocorrem em grupos (Figuras 3A e B) na porção proximal do sistema subterrâneo localizada entre os planos 1 e 2 indicados na Figura 1B.

A análise anatômica do sistema subterrâneo nos planos de corte 1, 2 e 3, indicados na figura 1B, revela que a estrutura é altamente complexa e de natureza mista (Figuras 2 A-C). Na porção proximal (plano 1), observa-se a auto-enxertia entre quatro eixos caulinares. A Figura 1C mostra a auto-enxertia natural entre vários eixos caulinares de um outro sistema subterrâneo. Observa-se que os eixos caulinares emitidos nos diferentes períodos não estão todos no mesmo plano. No corte transversal desta porção o cilindro central dos eixos apresenta-se, por vezes, inclinado, dificultando a análise da maturação do xilema primário, que pode ser verificado na figura 2 A.

Na porção média do sistema subterrâneo (plano 2), a estrutura também é caulinar e na porção distal (plano 3) observa-se a auto-enxertia entre quatro eixos radiculares (Figura 2B).

As gemas caulinares (Figuras 3 e 4) são originadas na região cambial (Figura 4C) e são protegidas por catafilos (Figura 4A).

O xilopódio e as raízes adventícias de *Calea verticillata* não apresentaram cristais de inulina e outros compostos de reserva, pois o resultado dos testes microquímicos foi negativo.

O sistema subterrâneo apresenta estruturas secretoras (Figura 5), visualizadas no floema secundário (Figura 5A e B). Nas secções longitudinais foi possível verificar que essas estruturas são alongadas constituindo canais secretores. Nos materiais fixados foi mais difícil visualizar a secreção dentro dos canais. Nas amostras não fixadas, a secreção dos canais cora-se com o Sudan IV. As raízes adventícias de *Calea verticillata* também apresentaram canais secretores (dados não ilustrados).

4.2 *Isostigma megapotamicum*

Em *Isostigma megapotamicum* (Figuras 6 a 9), o sistema subterrâneo é constituído pelo xilopódio que emite raízes adventícias delgadas. O xilopódio apresenta um eixo curto túbero-lignificado localizado nas camadas superficiais do solo (Figura 6B). Nem sempre os xilopódios apresentaram o mesmo formato, na figura 6B o xilopódio se mostrou ovóide como na espécie *Calea verticillata*, com 6 cm de comprimento e 5,5 de largura, a porção proximal apresenta várias gemas (Figura 6C), concentrando-se até 2,5 cm do ápice e a porção distal é mais dilatada e emite muitas raízes (Figura 6B).

Somente foi possível analisar a estrutura anatômica até a porção mediana do sistema subterrâneo, plano de corte 1 da figura 6B. Na figura 7A observa-se a auto-enxertia entre três eixos caulinares com ampla medula no centro (Figuras 7B e C) e xilema primário endarco (Figura 7C). As gemas caulinares presentes nesse sistema subterrâneo originam-se na região cambial, conforme indicadas nas figuras 8 A e B.

O sistema subterrâneo apresenta estruturas secretoras, que em seção transversal (Figura 9A) possui epitélio secretor delimitando o lume o qual é preenchido por uma secreção de coloração avermelhada “in vivo” (Figuras 9A e B). A secreção é uma emulsão e se apresenta em forma de gotas no interior dos canais (Figuras 9C, D e G) e de coloração amarelada (no lume do canal) e alaranjada (no epitélio) quando corada com a corifosfina (Figuras 9C, D) e observada em microscópio de fluorescência, indicando a presença de substâncias pécticas. A análise dos cortes longitudinais (Figuras 9 B, F e G) revelaram que tais estruturas são longas tratando-se de canais ou ductos. Esses canais se originam a partir de células derivadas do câmbio vascular (Figura 8 C) e ocorrem tanto no floema como no xilema secundários (Figura 8D).

Testes microquímicos realizados com o Sudan Black B (Figuras 9 E e F) e com o Sudan IV (Figura 9G) confirmaram a natureza lipídica da secreção. Essa mesma secreção obteve resposta negativa para proteínas totais através do teste com Aniline Blue Black. Também obteve-se resposta negativa para Cloreto Férrico, Cloreto de Zinco Iodado e para Aniline Blue Black em todos os tecidos do xilopódio.

O sistema subterrâneo após ser submetido à técnica para a cristalização da inulina apresentou cristais de inulina predominantemente no parênquima xilemático (Figura 9H).

4.3 *Vernonia oxylepis*

Nessa espécie (Figuras 10 a 14), o sistema subterrâneo é constituído por um eixo longo orientado verticalmente em relação ao solo, com aproximadamente 19 cm de comprimento por 0,6 cm de largura, onde os ramos aéreos são formados na porção proximal. O eixo, de consistência carnosa, apresenta várias áreas de contração (Figuras 10C

e D) e pequenas protuberâncias (Figuras 12A e 14A) ao longo de toda a sua superfície. A observação apenas da morfologia externa das protuberâncias que ocorrem sobre o eixo não permite determinar se é uma gema ainda não expandida ou uma raiz lateral em desenvolvimento. Cortes longitudinais da raiz tuberosa passando por estas protuberâncias (Figuras 12B e 14B) permitem observar que, quando existe um traço vascular conectando a protuberância ao cilindro vascular do eixo de origem (Figura 14 B), trata-se de uma raiz lateral e, quando não há traço vascular chegando ao cilindro central da raiz (Figura 12 B), trata-se de uma gema (Figuras 12 B a E).

As análises anatômicas revelam que a porção proximal do sistema subterrâneo de *V. oxylepis* apresenta eixos caulinares (Figuras 11A e B). O restante do sistema é uma raiz, pois no centro da estrutura observa-se o xilema primário com maturação centrípeta (Figura 12E). Os testes microquímicos revelam que esta raiz tuberosa acumula grande quantidade de gotas lipídicas nas células parenquimáticas do periciclo proliferado (Figura 11C) e, também, inulina, cujos cristais (Figura 11D) são verificados sob luz polarizada após a raiz ser submetida à técnica proposta por Johansen (1940). A raiz não acumula amido ou compostos fenólicos, pois o resultado dos testes com os reagentes cloreto de zinco iodado e cloreto férrico foi negativo.

Na figura 13A e B, observa-se a endoderme com estrias de Caspary, confirmando que as várias camadas de células parenquimáticas subjacentes têm origem pericíclica. As divisões destas células, preferencialmente anticlinais e periclinais, conferem certa tuberização à raiz. As gemas originam-se nas camadas mais externas (Figuras 12 C a E) deste periciclo proliferado, enquanto os primórdios radiculares têm origem nas suas

camadas mais internas (Figura 14C). Opostas às áreas de contração (Figura 14D), as células do periciclo são menores e o número de camadas do periciclo também é menor.

Em *Vernonia oxylepis* não são observadas estruturas secretoras no sistema subterrâneo.

5. DISCUSSÃO

Os sistemas subterrâneos de *Calea verticillata* e *Isostigma megapotamicum* são bastante complexos, caracterizados pela auto-enxertia entre eixos caulinares (reflexo da sua elevada capacidade gemífera), estrutura altamente lignificada. Essas características morfo-anatômicas permitem denominar esses sistemas de xilopódio (Apezzato-da-Glória, 2003). Segundo a autora, os xilopódios originalmente descritos por Lindman (1906) caracterizam-se pela sua complexidade estrutural, consistência extremamente rígida e capacidade gemífera. Também Rachid (1947), baseando-se apenas na morfologia externa das estruturas, comentou que o xilopódio poderia ser caulinar e/ou radicular. Com as análises anatômicas, Paviani (1977, 1978) considerou o xilopódio, em *Brasilia sickii*, uma unidade morfológica porém, não anatômica. De acordo com a autora, a estrutura do xilopódio às vezes é caulinar e, em outras vezes, radicular. Fato também confirmado por Apezzato-da-Glória e Estelita (1995, 2000) em *Mandevilla illustris* e *M. velutina*. A complexidade estrutural dos xilopódios está relacionada ao processo natural de enxertia entre ramos e raízes que são emitidos pela planta ao longo de seu desenvolvimento como verificado em *Calea verticillata* e *Isostigma megapotamicum* e em outras espécies do Cerrado (Paviani 1977, 1978; Apezzato-da-Glória e Estelita 1995, 2000).

A emissão periódica de ramos, em função das gemas presentes nos xilopódios, confere às espécies a capacidade de sobrevivência às condições do Cerrado, especialmente nos períodos de déficit hídrico que, em geral, estão associados à ação do fogo (Rizzini & Heringer, 1961, Appezzato-da-Glória & Estelita, 1995).

Segundo Rizzini e Heringer (1961), a capacidade de produção de gemas é uma característica marcante dos xilopódios. A emissão de gemas e formação de ramos aéreos estaria associada às alterações ambientais, as quais estimulariam esse processo (Rizzini e Heringer 1966).

De acordo com Appezzato-da-Glória (2003), os xilopódios podem apresentar variações quanto à forma, de globosos, cilíndricos, até formas indefinidas. Tanto em *Calea verticillata*, quanto em *Isostigma megapotamicum*, o xilopódio é ovóide. Em ambas espécies, o xilopódio é curto e superficial. Geralmente plantas com xilopódio estão situadas superficialmente nas camadas mais secas do solo, necessitando ser providas com água e reservas nutritivas a fim de sobreviverem à estação de seca e produzirem brotos aéreos na estação chuvosa (Rizzini & Heringer, 1961). Em *Vernonia oxylepis*, o sistema subterrâneo é gemífero, a estrutura anatômica da maior parte do eixo é radicular, pois a maturação do xilema primário é centrípeta (Esau 1965, Fahn 1982). A porção superior deste sistema, que apresenta a emissão de ramos unidos por auto-enxertia natural, é muito diminuta e não lignificada não podendo ser denominada xilopódio. Portanto, neste estudo considerou-se que *Vernonia oxylepis* possui apenas raiz tuberosa.

Uma das propostas deste trabalho é apresentar a denominação dos sistemas subterrâneos visando auxiliar na correta identificação dessas espécies. Tertuliano e Figueiredo-Ribeiro (1993) listaram 19 espécies de Asteraceae do Cerrado que acumulam

cristais de inulina em órgãos subterrâneos (espessados ou não), inclusive em *Isostigma megapotamicum* (*Isostigma peucedanifolium*) e *Vernonia oxylepis*. Os autores relacionaram *Isostigma peucedanifolium* como apresentando raiz tuberosa e *Vernonia oxylepis* xilopódio/raízes espessadas, porém, os autores não realizaram estudo anatômico nos sistemas subterrâneos. No presente estudo, verificou-se que o sistema subterrâneo de *Isostigma megapotamicum* é na realidade um xilopódio que emite raízes não espessadas e o de *Vernonia oxylepis* uma raiz tuberosa. Tal fato, ratifica a importância de estudos anatômicos em sistemas subterrâneos para a utilização correta da terminologia dos mesmos.

Em *V. oxylepis*, as gemas têm origem a partir das camadas mais externas do periciclo proliferado. Diferentes sítios de origem de gemas a partir de raízes têm sido relatados na literatura e estão relacionados com a capacidade de sobrevivência das espécies ao ambiente (Hayashi et al. 2001).

Calea verticillata e *Isostigma megapotamicum* apresentam gemas originadas na região cambial. Embora Paviani (1987) tenha considerado como padrão para os xilopódios a origem das gemas a partir da desdiferenciação de células parenquimáticas proliferadas, Appezzato-da-Glória e Estelita (1995, 2000) já haviam verificado a origem cambial das gemas em *Mandevilla illustris* e *M. velutina*.

Várias espécies herbáceas de Cerrado apresentam sistemas subterrâneos que acumulam frutanos (polímeros de frutose) como o principal carboidrato de reserva. Dentre estas, destacam-se principalmente as Asteraceae que acumulam frutanos do tipo inulina (Figueiredo-Ribeiro et al., 1986; Tertuliano & Figueiredo-Ribeiro, 1993; Dias-Tagliacozzo, et al., 1999).

Segundo alguns autores (Pontis, 1990 *apud* Tertuliano & Figueiredo-Ribeiro 1993), os frutanos apresentam outras funções além das de fonte de energia ou de carbono de reserva. Eles desempenham um papel ecológico, podendo estar relacionados a mecanismos adaptativos em resposta ao estresse ambiental, através da contribuição na mudança do potencial osmótico da célula, oferecendo resistência às perturbações do ambiente, tais como a seca prolongada, o fogo, o congelamento (Melo-de-Pinna, 2000).

Em espécies de Asteraceae, os cristais de inulina encontram-se distribuídos principalmente no parênquima de reserva (Asega, 2003), quando visualizados em preparações tratadas com Álcool etílico 70%, conforme apresentado por Johansen (1940). Em *I. megapotamicum*, os cristais de inulina são visualizados no parênquima xilemático e em *V. oxylepis* estão presentes no parênquima de origem pericíclica.

As estruturas secretoras têm sido úteis para fins diagnósticos nos estudos taxonômicos e tipos particulares de estruturas são, às vezes, característicos de certas espécies, gêneros ou, até mesmo, famílias (Solereeder, 1908; Metcalfe & Chalk 1950; Esau, 1965; Fahn, 1982).

Nesse sentido, a Tabela 1 sugere que a homogeneidade quanto à ausência de ductos ou canais secretores observada em estudos anatômicos realizados em folhas de 27 espécies da tribo Vernonieae (Castro *et al.*, 1997), pode ser generalizada aos sistemas subterrâneos, pois em todos os casos, ou não se observaram estruturas secretoras, ou as mesmas não eram constituídas por ductos.

Mas, se por um lado, a tribo Vernonieae mostra homogeneidade relacionada ao tipo de estrutura secretora, por outro, seus sistemas subterrâneos não seguem um padrão definido quanto ao tipo, podendo ser compostos por xilopódio, raiz tuberosa, ou mesmo

rizóforos, como mostra a Tabela 1. Apenas os sistemas subterrâneos das espécies *V. oxylepis* e *V. brevifolia* revelaram grande semelhança, ambos sendo constituídos por raízes tuberosas e com as gemas caulinares originando-se do periciclo proliferado. Com relação a origem das gemas caulinares, parece haver um padrão para os xilopódios, onde a maioria origina-se da região cambial, com exceção da espécie *Vernonia grandiflora*, que tem origem pela proliferação do parênquima cortical (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação dos sistemas subterrâneos de espécies de Asteraceae do Cerrado Paulista analisadas nesse trabalho e em Hayashi, 2003.

Espécie	Tribo	Sistema Subterrâneo	Origem das Gemas Caulinares	Tipo de estrutura secretora	Referência
<i>Baccharis subdentada</i>	Astereae	Xilopódio	Câmbio vascular	Canal ou cavidade*	2
<i>Eupatorium maximilianii</i>	Eupatorieae	Xilopódio	Câmbio vascular	Canal ou cavidade*	2
<i>Eupatorium squalidum</i>	Eupatorieae	Xilopódio	Câmbio vascular	Não observada	2
<i>Calea verticillata</i>	Heliantheae	Xilopódio	Câmbio vascular	Canal	1
		Raízes adventícias		Canal	1
<i>Isostigma megapotamicum</i>	Heliantheae	Xilopódio	Câmbio vascular	Canal	1
<i>Lucilia lycopodioides</i>	Gnaphalieae	Rizóforo	Axilar	Não observada	2
<i>Vernonia brevifolia</i>	Vernonieae	Raiz tuberosa	Periciclo Proliferado	Idioblastos secretores	2
<i>Vernonia grandiflora</i>	Vernonieae	Xilopódio	Proliferação do parênquima cortical	Não observada	2
<i>Vernonia herbacea</i>	Vernonieae	Rizóforo	Axilar	Tricoma glandular	2
<i>Vernonia platensis</i>	Vernonieae	Rizóforo	Axilar	Não observada	2
<i>Vernonia oxylepis</i>	Vernonieae	Raiz tuberosa	Periciclo proliferado	Não observada	1

*As observações foram realizadas apenas nas secções transversais.

1- Esse trabalho; 2- Hayashi, 2003.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho confirmou-se a importância de estudos morfo-anatômicos de sistemas subterrâneos, permitindo a determinação da terminologia correta, denominando como xilopódio os sistemas subterrâneos de *Calea verticillata* e *Isostigma megapotamicum* e como raiz tuberosa o de *Vernonia oxylepis*. Também reforçam a importância desses estudos a confirmação da presença e origem das gemas caulinares, a detecção de compostos de reserva e a verificação da presença/ausência de estruturas secretoras.

Quanto às espécies estudadas pode-se destacar seu elevado potencial gemífero, bem como a presença de cristais de inulina em *Isostigma megapotamicum* e *Vernonia oxylepis* e gotas lipídicas em *Vernonia oxylepis*.

Essas características reveladas potencialmente auxiliam na sobrevivência das espécies às condições adversas do Cerrado.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dada a dificuldade de germinação das sementes das espécies estudadas nesse trabalho, verifica-se a necessidade de estudos de germinação, principalmente em espécies de Cerrado.

As estruturas secretoras são de grande valor taxonômico para as espécies de Asteraceae, sendo raros os registros em sistemas subterrâneos, portanto sugerem-se mais estudos nessa área. Estudos sobre a interação da fauna subterrânea com os sistemas subterrâneos de espécies do Cerrado também seriam importantes a fim de compreender a presença das estruturas secretoras nesses sistemas. Na espécie *Isostigma megapotamicum* foram observadas formigas junto ao sistema subterrâneo, isso talvez possa estar relacionado com a presença das estruturas secretoras nesses sistemas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.A . S. de. 1997. Caracterização e brotação do órgão subterrâneo de *Kohleria* sp. Campinas, Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. 2003. Morfologia de sistemas subterrâneos: histórico e evolução do conhecimento no Brasil. Ribeirão Preto. 80p.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B., ESTELITA, M. E. M. 1995. Caracteres anatômicos da propagação vegetativa de *Mandevilla illustris* (Vell.) Woodson e de *M. velutina* (Mart. ex Stedelm.) Woodson - Apocynaceae. In ‘Anais do IX Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo’, Ilha Solteira, p. 5-13.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; ESTELITA, M. E. M. 2000. The developmental anatomy of the subterranean system in *Mandevilla illustris* (Vell.) Woodson and *M. velutina* (Mart. ex Stedelm.) Woodson (Apocynaceae). *Revista brasileira de Botânica* 23 (1): 27-35.
- ASEGA, A. F. 2003. Enzimas do metabolismo de frutanos em *Vernonia herbacea* (Vell.) Rusby. Tese de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. São Paulo. 98 p.
- BREMER, K. 1994. Asteraceae-Cladistic & Classification. Timber Press-Portland, Oregon.
- CARVALHO, M. A. M. 1991. Variações no conteúdo e na composição de frutanos em rizóforos de *Vernonia herbacea* (Vell.) Rusby. Campinas. 111p. Tese (Doutorado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.

- CARVALHO, M. A. M. & DIETRICH, S. M. C. 1996. Carbohydrates in tuberous roots of *Cochlospermum regium* (Mart. & Schr.) Pilger at different stages of development. *Revista Brasileira de Botânica*, v.19, n.2, p. 127-131, dez.
- CASTRO, M. de M., LEITÃO-FILHO, H. DE F. & MONTEIRO, W.R. 1997. Utilização de estruturas secretoras na identificação dos gêneros de Asteraceae de uma vegetação de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, v.20, n.2, p.163-174, dez.
- COUTINHO, L.M. 2002. O bioma do Cerrado. Parte II, p. 77-91. In: Klein, A. L. (Organizador). 2002. Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois. Editora Unesp; Imprensa Oficial do Estado. 156p.
- CRONQUIST, A. 1981. An Integrated system of classification of flowering plants. New York, Columbia, University Press.
- DIETRICH, S. M. C.; Figueiredo-Ribeiro, R. C. L.; Chu, E. P.; Buckeridge, M. S. 1988. O açúcar das plantas. *Ciência Hoje* 7 (39):42-48.
- DIAS-TAGLIACOZZO, G. M. 1995. Frutanos de *Vernonia herbacea* (Vell) Rusby: Variações em função da temperatura e da disponibilidade de água. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 104p.
- DIAS-TAGLIACOZZO, G. M. FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L.; CARVALHO, M.A.M.; DIETRICH, S.M.C. 1999. Fructan variation in the rhizophores of *Vernonia herbacea* (Vell.) Rusby, as influenced by temperature. *Revista Brasileira de Botânica*, v.22, n.2 (suplemento), p.267-273, out.
- ESAU, K. 1965. *Plant Anatomy*. John Wiley, New York.

- FAHN, A . 1982. Plant Anatomy. Pergamon Press, Oxford.
- FANTINATI, M.R. & SANO, P.T. 2003. Levantamento florístico em campo úmido no Cerrado da estação ecológica de Itirapina. Anais do 54o Congresso Nacional de Botânica. Belém, PA.
- FERRI, M.G. 1980. Vegetação brasileira. Belo Horizonte, Itatiaia, São Paulo, EDUSP.
- FIGUEIREDO, R. C. L. 1972. Sobre a anatomia dos órgãos vegetativos de *Ocimum nudicaule* Benth. (Labiatae). Anais da Academia Brasileira de Ciências, 44 (3/4): 549-570.
- FIGUEIREDO-RIBEIRO R.C.L.; DIETRICH, S.M.S.; CHU, E.P.; MACHADO DE CARVALHO, M.A.; VIEIRA, C.C.J.; GRAZIANO, T.T. 1986. Reserve carbohydrates in underground organs of native Brazilian plants. Revista Brasileira de Botânica 9(2):159-166.
- FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L.; ISEJIMA, E. M.; DIAS-TAGLIACOZZO, G. M.; CARVALHO, M. A. M.; DIETRICH, S. M. C. 1992. The physiological significance of fructan accumulation in Asteraceae from the Cerrado. Ciência e Cultura 43: 443-446.
- FISHER, D.B. 1968. Protein staining of ribboned epon sections for light microscopy. Histochemie, v.16, p. 92-96.
- GERLACH, G. 1969. Botanische microtechnik, eine einföhrung. Stuttgart: Georg Thieme.
- HAYASHI, A. H.; PENHA, A . S.; RODRIGUES, R. R.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. 2001. Anatomical studies of shoot bud-forming roots of Brazilian tree species. Australian Journal of Botany, 49: 745-751.

- HAYASHI, A. H. 2003. Morfo-anatomia de sistemas subterrâneos de espécies herbáceo-subarbustivas e arbóreas, enfatizando a origem das gemas caulinares. Tese de Doutorado. IB/Unicamp, Campinas, SP. 142p.
- HENDRY, G.A.F. & WALLACE, R.K. 1993. The origin, distribution and evolutionary significance of fructans. In Science and technology of fructans (M. Suzuki & N.J. Chatterton, eds.). CRC Press, Boca Raton, p.120-139.
- HUECK, K. 1978. Los bosques de Sudamérica. Eschborn, Sociedad Alemania de Cooperacion Técnica.
- JENSEN, W. A. Botanical histochemistry: principle and practice. San Francisco: W. H. Freeman, 1962. 408p.
- JOLY, A.B. 1970. Conheça a vegetação brasileira. São Paulo, Polígono, EDUSP.
- JOHANSEN, D.A., 1940. Plant Microtechnique. McGraw-Hill Book Company, New York. 523p.
- LEITÃO-FILHO, H.F. 1992. A flora arbórea dos cerrados do estado de São Paulo. Hoehnea 19 (1/2): 151-163.
- LINDMAN, C.A.M. 1906. A vegetação no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Loefgren.
- MAGENTA, M. A. G. 1998. As subtribos Ambrosiinae, Galinsoginae e Coreopsidinae (Heliantheae-Asteraceae) no estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IB/USP. São Paulo, SP. 139p.
- MANTOVANI, W. 1987. Análise florística e fitossociológica do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado na Reserva Biológica de Mogi-Guaçu e em Itirapina. Tese de

- Doutorado, IB/Unicamp. Campinas, SP. 302p.
- MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. 1988. Variações fenológicas das espécies de cerrado da Reserva Biológica de Moji-Guaçu, São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica* 11: 101-112.
- MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. 1993. Florística do Cerrado na reserva biológica de Mogi-Guaçu, SP. *Acta Botanica Brasílica* (Brasília), v.7, p.33-60.
- MEIER, H. & REID, J.S.G. 1982. Reserve polysaccharides other than starch in higher plants. In *Encyclopedia of plant physiology. New series*, v.13A. Plant carbohydrates I. (F.A. Loewus & W. Tanner, eds.). Springer-Verlag, London, p.418-471.
- MELO-DE-PINNA, G. F. A. 2000. Anatomia dos órgãos vegetativos dos gêneros *Richterago Kuntze* e *Ianthopappus* (Less.) Roque & D. J. N. Hind (Mutisieae-Asteraceae). São Paulo, Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- MENEZES, N. L. de; HANDRO, W. & MELLO CAMPOS, J.F.B. de. 1969. Estudos anatômicos em *Pfaffia jubata* Mart. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, U.S.P.*, 331, *Botânica* 24: 197-237.
- METCALFE, C. R. & CHALK, L. 1950. *Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses*. Vol. II. Oxford. At the Clarendon Press. London.
- PAVIANI, T.I. 1972. Estudo morfológico e anatômico de *Brasilia sickii* G. M. Barroso:I. *Revista brasileira Biologia* 32(4): 451-472.
- PAVIANI, T.I. 1977. Estudo morfológico e anatômico de *Brasilia sickii* G.M. Barroso. II:

- Anatomia da raiz, do xilopódio e do caule. *Revista brasileira Biologia* 37 (2): 307-324.
- PAVIANI, T.I. 1978. Anatomia vegetal e cerrado. *Ciência e Cultura* 30 (9): 1076-1086.
- PAVIANI, T.I. 1987. Anatomia do desenvolvimento do xilopódio de *Brasilia sickii* G.M. Barroso. Estágio inicial. *Ciência e Cultura* 39 (4): 399-405.
- PAVIANI, T.I.; HARIDASAN, M. 1988. Tuberosidade em *Vochysia thyrsoidea* Pohl (Vochysiaceae). *Ciência e Cultura* 40 (10): 998-1003.
- RACHID, M. 1947. Transpiração e sistemas subterrâneos da vegetação de verão dos campos Cerrados de Emas. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, U.S.P., LXXX, Botânica* 5: 5-140.
- RATTER, J.A., RIBEIRO, J.F., BRIDGEWATER, S. 1997. The brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Ann. Bot.* 80 (3): 223-230.
- RAWITSCHER, F.; FERRI, M. G. & RACHID, M. 1943. Profundidade dos Solos e Vegetação em Campos Cerrados do Brasil Meridional. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, t. XV, n. 4, 267-294.
- RAWITSCHER, F.; RACHID, M. 1946. Troncos subterrâneos de plantas brasileiras. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, t. XVIII, n. 4, 261-280.
- RIZZINI, C.T. 1963. O fator edáfico na formação do xilopódio de *Mimosa multipinna* Benth. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 35 (1): 75-77.
- RIZZINI, C.T. 1965. Estudos experimentais sobre o xilopódio e outros órgãos tuberosos de plantas do cerrado. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 37 (1): 87-113.

- RIZZINI, C. T., HERINGER, E. P. 1961. Underground organs of plants from some southern Brazilian savannas, with special reference to the xylopodium. *Phyton* 17, 105-124.
- RIZZINI, C. T., HERINGER, E. P. 1962. Studies on the underground organs of trees and shrubs from some southern Brazilian savannas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 34, 235-247.
- RIZZINI, C. T., HERINGER, E. P. 1966. Estudo sobre os sistemas subterrâneos difusos de plantas campestres. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 38, 85-112.
- SAJO, M. G.; MENEZES., N. L. de. 1986a. Anatomia do rizóforo de espécies de *Vernonia* Scrib. (Compositae), da Serra do Cipó, MG. *Revista brasileira de Biologia* 46 (1): 189-196.
- SAJO, M. G.; MENEZES., N. L. de. 1986b. Origem e crescimento do rizóforo em espécies de *Vernonia* Scrib. (Compositae) da Serra do Cipó, MG. *Revista brasileira de Biologia* 46 (1): 197-202.
- SAKAI, W.S. 1973. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue O. *Stain Technology* 48(5): 47-249.
- SASS, J.E. 1951. *Botanical microtechnique*. Ames: Iowa State University.
- SERRA-FILHO, R., CAVALLI, A.C., GUILLAUMON, J.R., CHIARINI, J.V., NOGUEIRA, F.P., IVANCKO, C.M.A.M., BARBIERI, J.L., DONZELI, P.L., COELHO, A.G.S., BITTENCOURT, I. 1974. Levantamento da cobertura natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo. São Paulo, Instituto Florestal. (Boletim

Técnico no 11).

SOLEREDER, H. 1908. Systematic anatomy of the Dicotyledons. A handbook for laboratories of pure and applied Botany. Trans. By L.A. Boodle & F.G. Fritsch. Vols. I, II. Clarendon Press, Oxford.

STRASBURGER, E. 1913. Handbook of practical botany. 7ed. London: George Allen. 527p.

TERTULIANO, M.F.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L. 1993. Distribution of fructose polymers in herbaceous species of Asteraceae from the cerrado. *New Phytologist* 123:741-749.

TOLEDO-FILHO, D.V., LEITÃO FILHO, H.F., RODRIGUES, T.S. 1984. Composição florística de área de cerrado em Mogi-Mirim (SP). *Bol. Téc. Inst. Flor.* 38: 165-175.

WEIS, K.G.; POLITO, V.S.; LABAVITCH, J.M. 1988. Microfluorometry of pectic materials in the dehiscence zone of almond (*Prunus dulcis* Mill DA WEBB) fruits. *Journal of histochemistry and citochemistry* 36:1037-1041.

FIGURAS

Figura 1. *Calea verticillata* (Klatt.) Prusk. **A.** Capítulos abertos e aquênios de um indivíduo no Cerrado. **B.** Visão geral do xilopódio, onde **S** corresponde ao nível do solo, e **1, 2 e 3** aos planos de corte analisados anatomicamente. **C.** Corte transversal de outro xilopódio, mostrando auto-enxertias entre vários eixos caulinares. Barras: A= 1,7 cm; B= 1 cm; C= 0,25 cm.

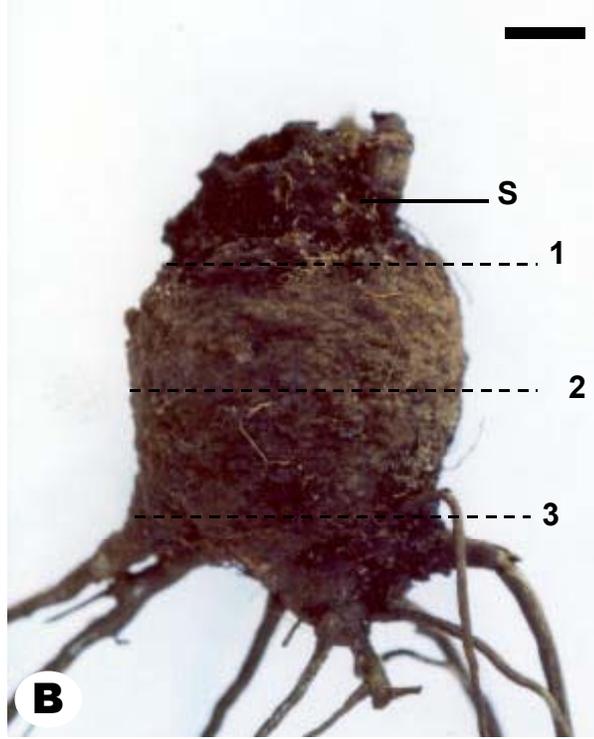


Figura 2. *Calea verticillata* (Klatt.) Prusk. A-C. Cortes transversais do xilopódio, nos planos 1, 2 e 3 indicados na figura 1B. A. Plano 1 mostrando a enxertia entre quatro eixos caulinares (E). B. Plano 3 mostrando a enxertia entre quatro eixos radiculares. C. Detalhe de um dos eixos radiculares mostrados na figura anterior. Barras: A= 870 μm ; B= 1740 μm ; C= 217 μm .

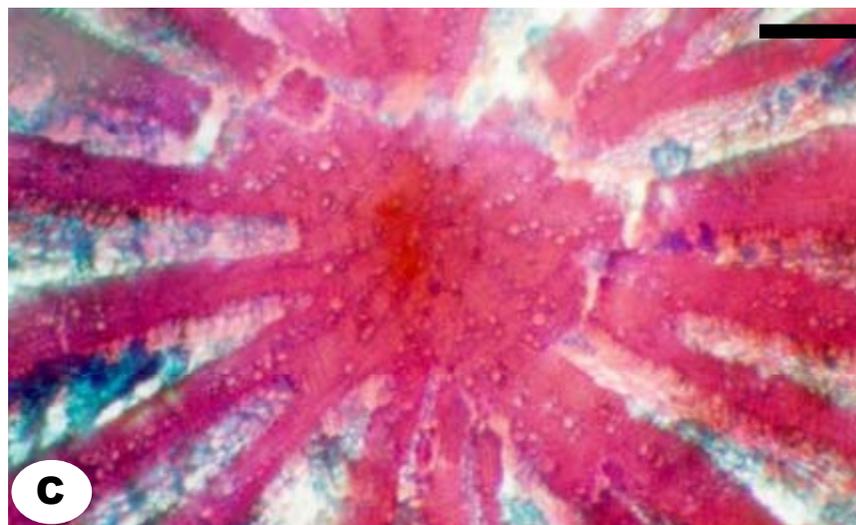
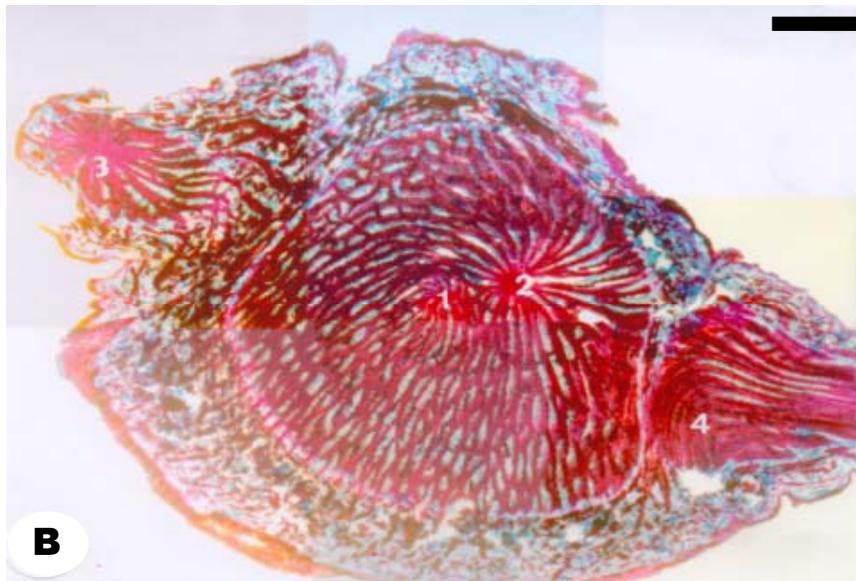
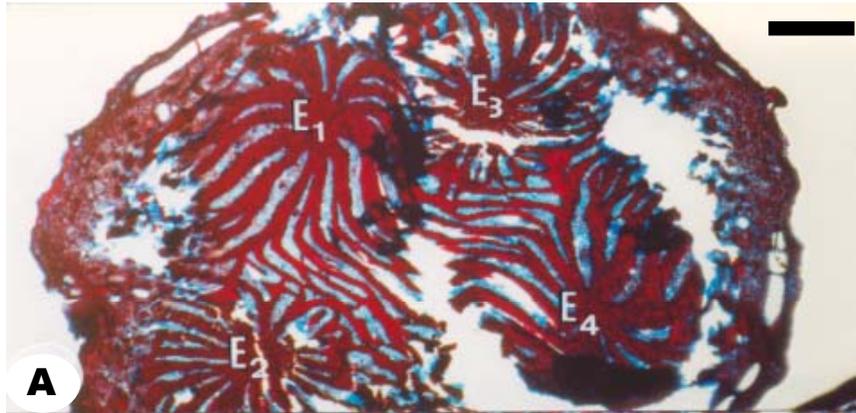


Figura 3. *Calea verticillata* (Klatt.) Prusk. **A.** Grupo de gemas caulinares (G) localizadas entre os planos **1** e **2**, indicados na figura 1B. **B.** Corte longitudinal das gemas (G) visualizadas na figura anterior. F= Floema secundário, X= xilema secundário. Barras: A= 870 μm ; B= 605,5 μm .

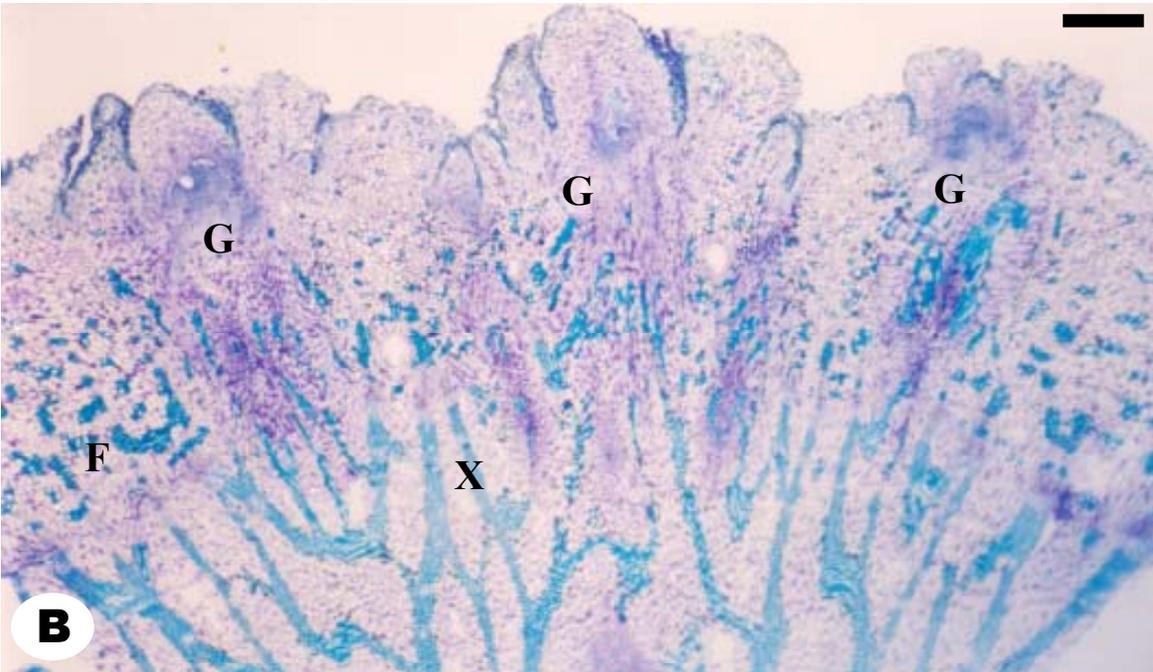


Figura 4. *Calea verticillata* (Klatt.) Prusk. A-C. Cortes longitudinais da gema. **A.** Gema caulinar originada na região cambial (setas menores). Observa-se o procâmbio (seta maior). **B.** Gema caulinar com origem na região cambial (setas). **C.** Gema caulinar (G) em início de formação, observar que a gema está lateralmente delimitada pelo floema secundário (F) confirmando a origem a partir da região cambial (setas). Ca= Catafilos, P= periderme, X= xilema secundário. Barras: A-B= 199 μm ; C= 74 μm .

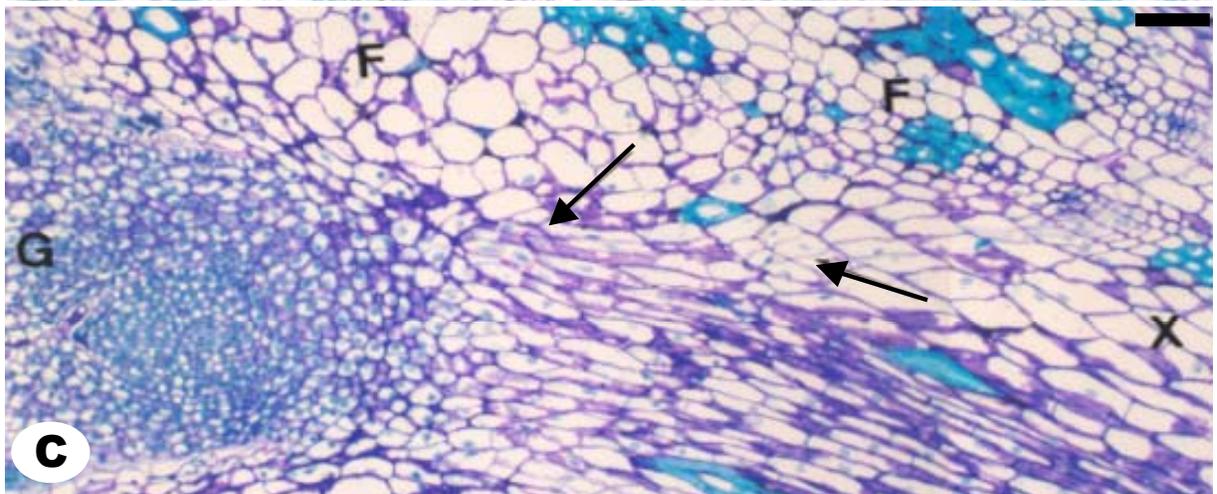
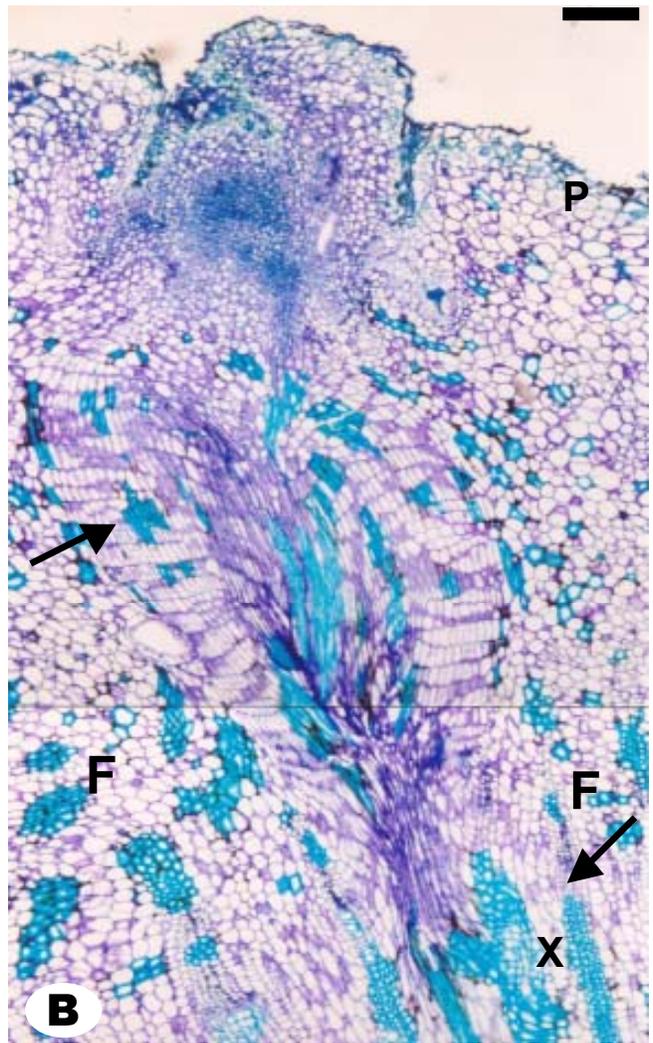
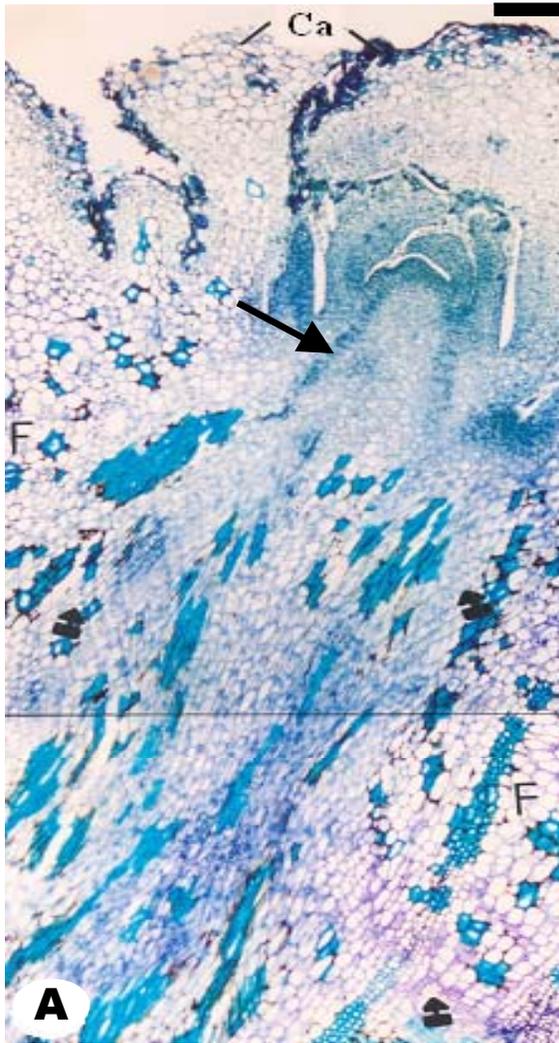


Figura 5. *Calea verticillata* (Klatt.) Prusk. A-C. Cortes transversais do xilopódio. **A.** Presença de canais secretores (área em destaque) no floema secundário (F), a seta indica a faixa cambial. **B.** Detalhe dos canais secretores (cs), visualizados na figura anterior. **C.** Canal secretor de material não-fixado e secreção corada com Sudan IV. Barras: A= 221,1 μm ; B= 61,7 μm ; C= 19 μm .

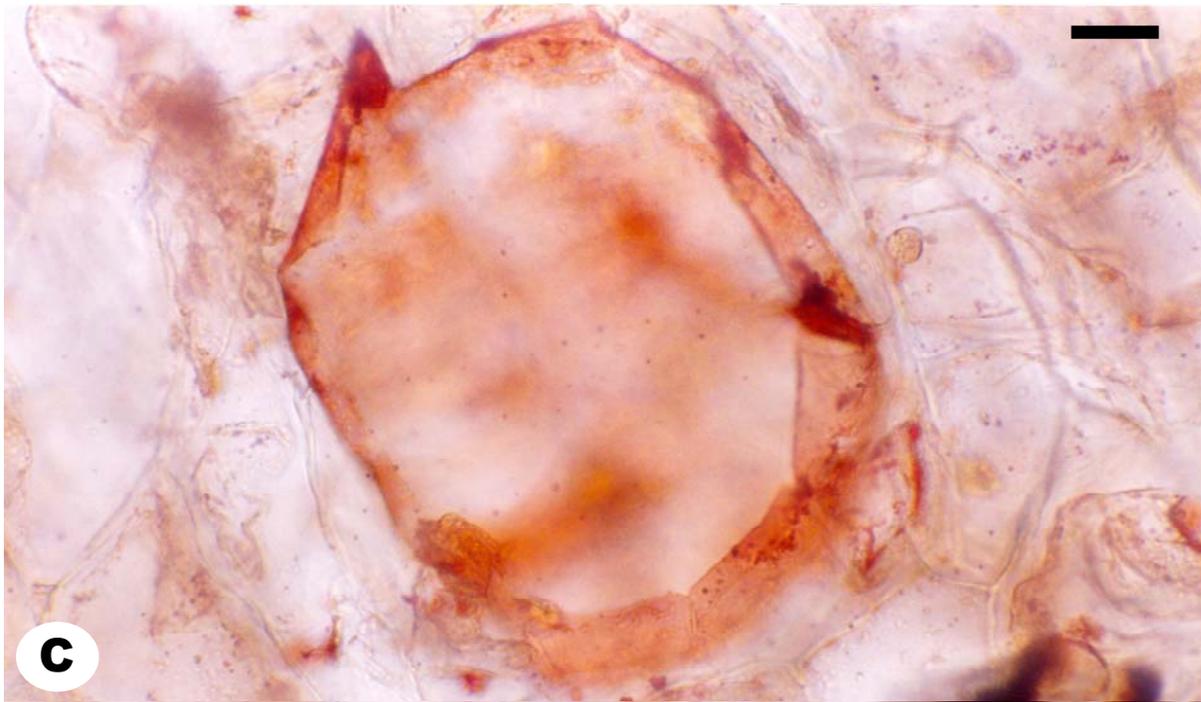
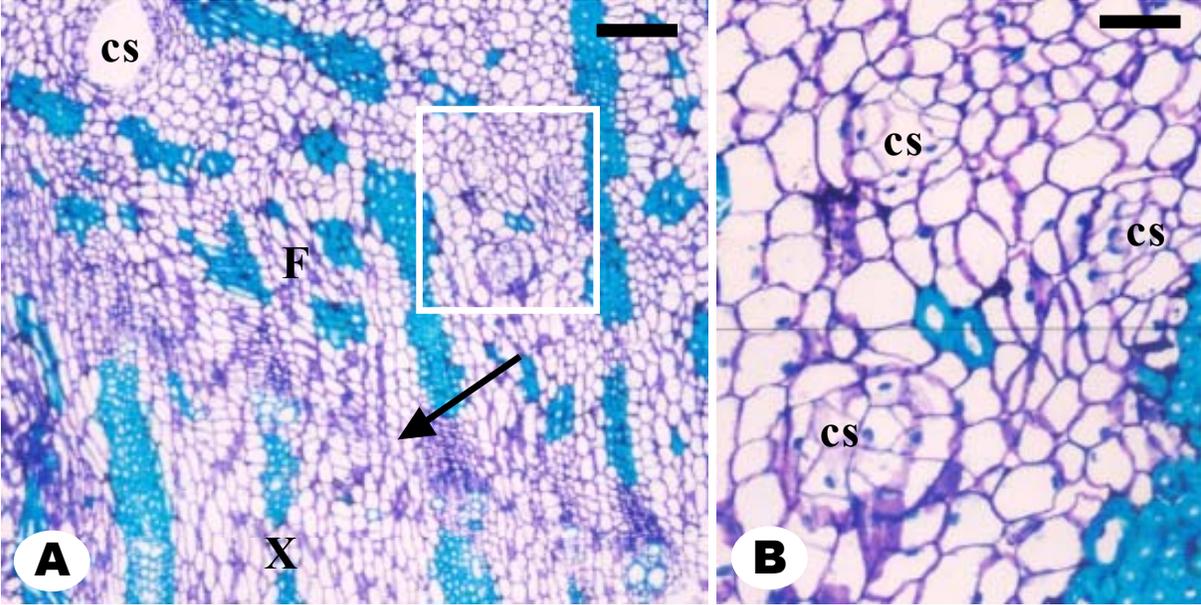


Figura 6. *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff. **A.** Vista geral da planta. **B.** Xilopódio, onde **S** corresponde ao nível do solo, e **1** ao plano de corte analisado anatomicamente. **C.** Detalhe de uma gema (seta). Barra: C= 820 µm.

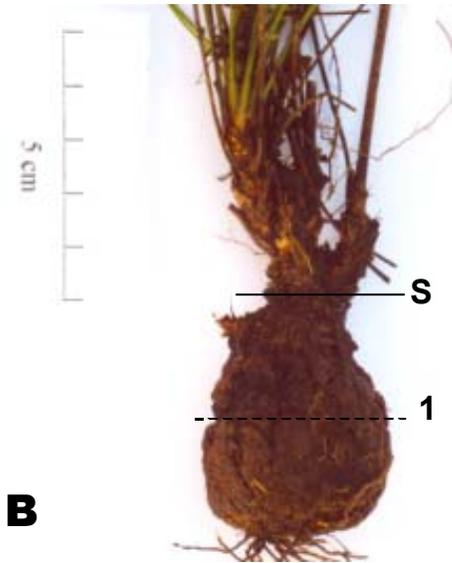


Figura 7. *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff. **A-C.** Cortes transversais do xilopódio. **A.** Plano 1 indicado na Figura 6B, mostrando a auto-enxertia de 3 eixos caulinares (EC). **B.** Detalhe de um eixo caulinar com medula (M) no centro. **C.** Estrutura caulinar com maturação centrífuga do xilema primário (x). Barras: A= 870 μm ; B= 450 μm ; C= 50 μm .

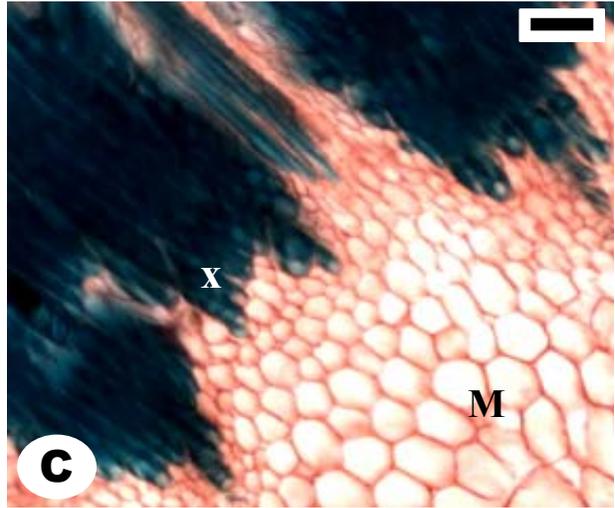
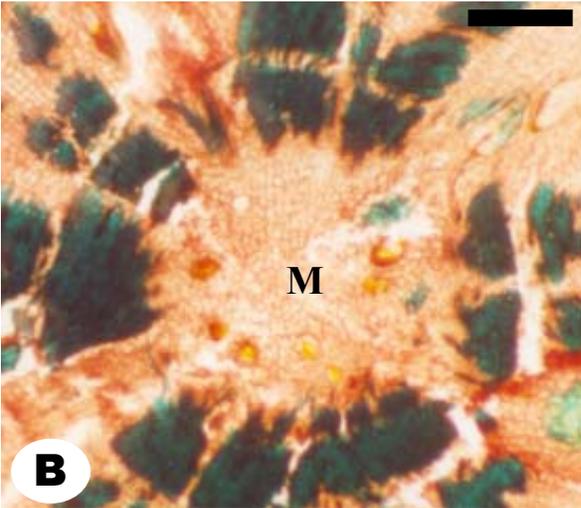
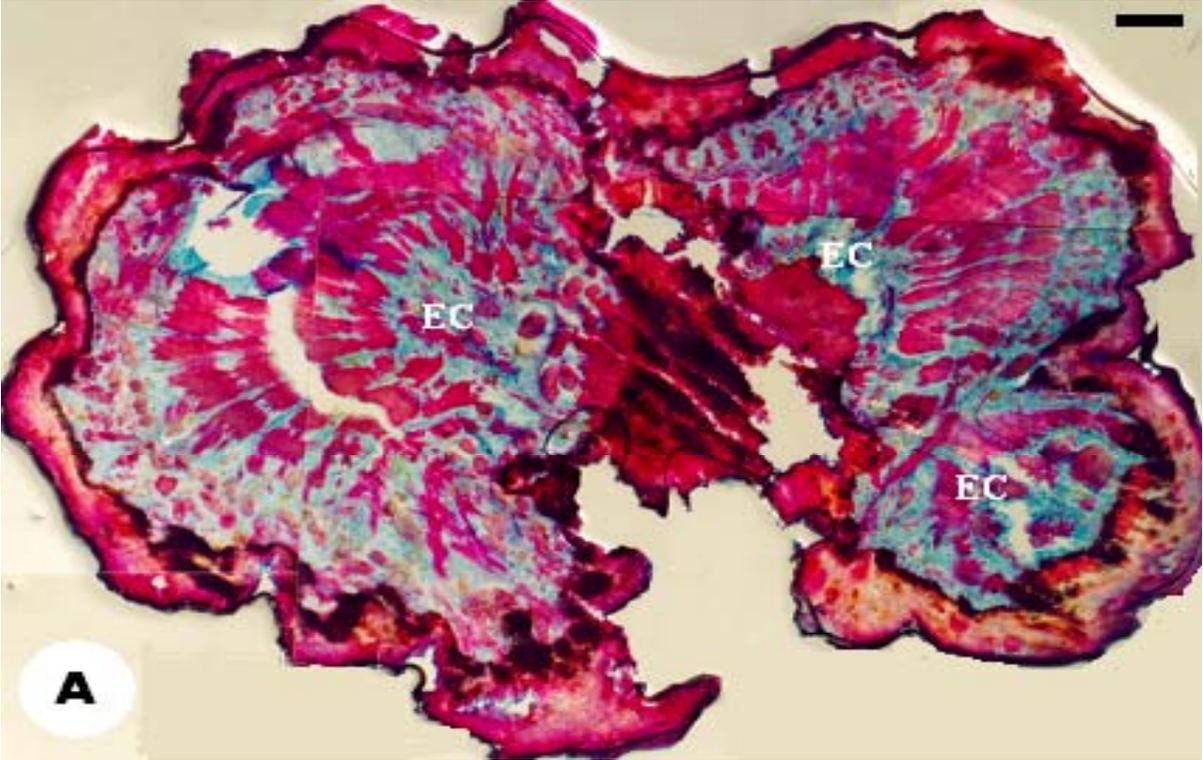


Figura 8. *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff. **A-B.** Cortes longitudinais de uma gema (G) originada na região cambial (seta). **C-D.** Cortes transversais do xilopódio. **C.** Canal secretor (seta) com origem a partir das derivadas do câmbio vascular (C). **D.** Canais secretores (cs), ocorrem tanto no xilema secundário (X), como no floema secundário (F). Barras: A= 199 μm ; B= 74 μm ; C= 19 μm ; D= 180,9 μm .

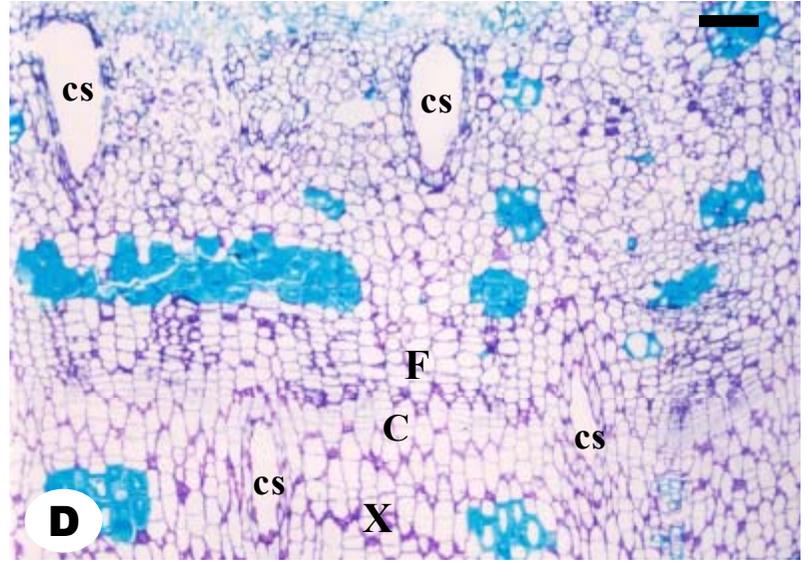
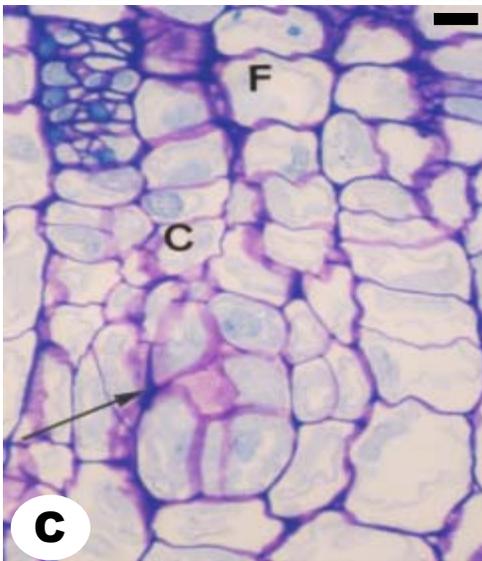
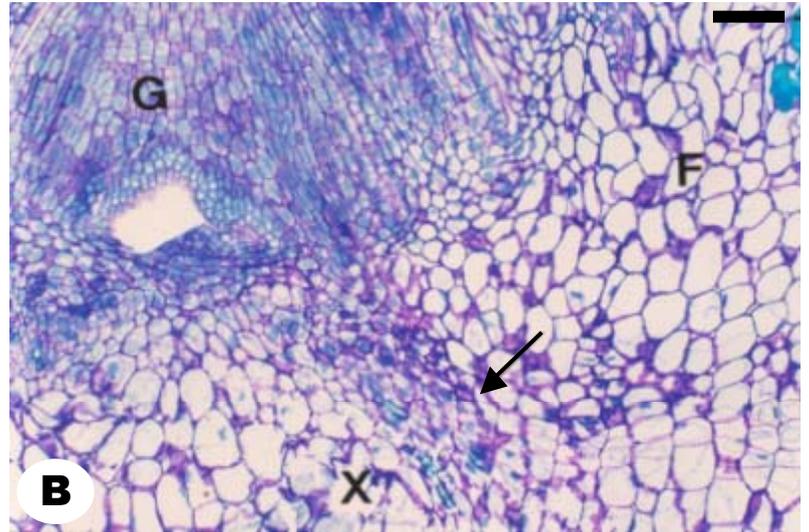
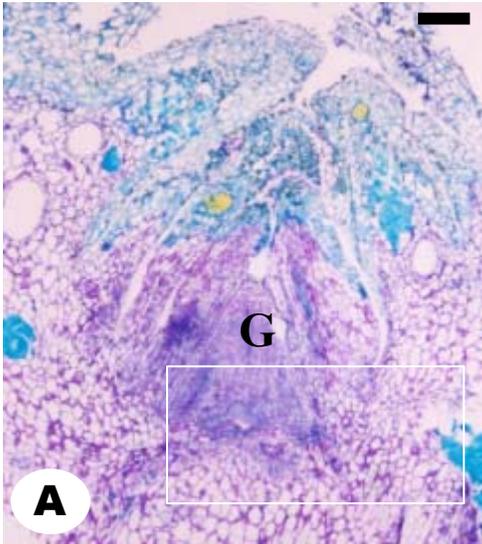


Figura 9. *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff. Cortes transversais (**A,C,D,E,H**) e longitudinais (**B,F,G**) do xilopódio. **A-B.** Canal secretor visualizado em material não-fixado, mostrando que a secreção possui coloração avermelhada. **C-D.** Canal secretor de material fixado corado levemente pela Corifosfina e observado em Microscópio de fluorescência. **E-F.** Secreção do canal de material não-fixado corada com Sudan Black B. **G.** Secreção do canal de material não-fixado corada com Sudan IV. **H.** Cristais de inulina no xilema secundário verificados sob luz polarizada. C= Câmbio vascular. Barras: A= 17 μm ; B,C,E,F= 33,3 μm ; D,H=137,5 μm ; G= 74 μm .

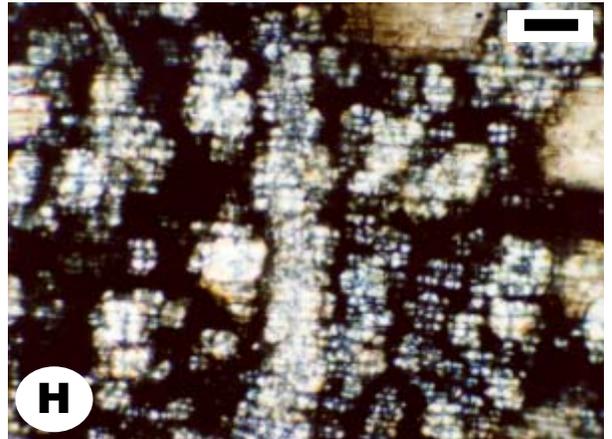
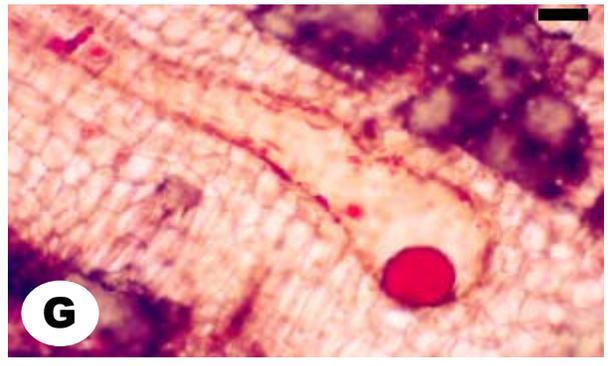
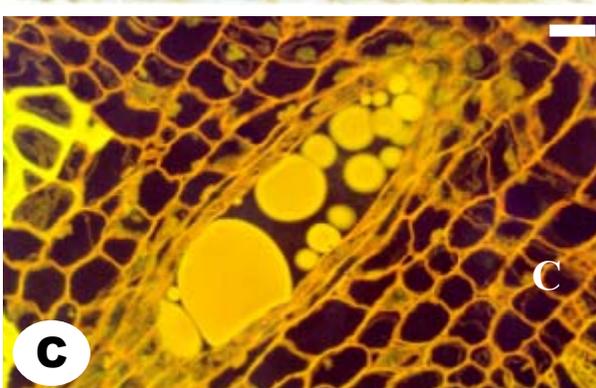
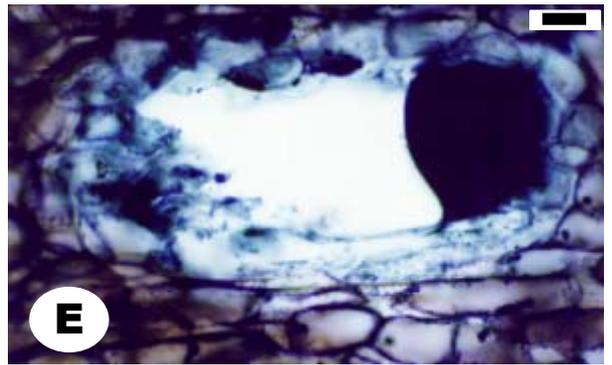
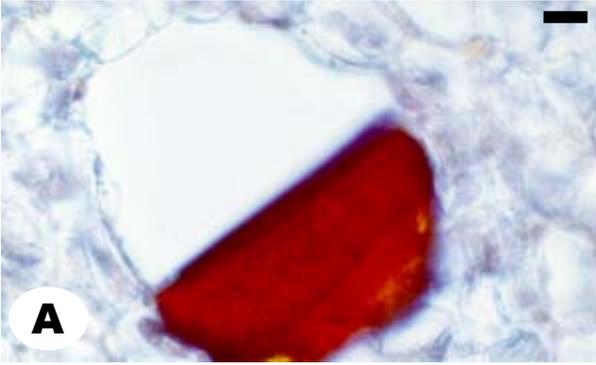


Figura 10. *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart ex Baker. **A.** Planta inteira. **B-D.** Detalhes da raiz tuberosa evidenciando a porção proximal com a saída dos ramos aéreos (seta) em **C** e áreas de contração (Co) ao longo de todo o eixo em **D**. S= Nível do solo.

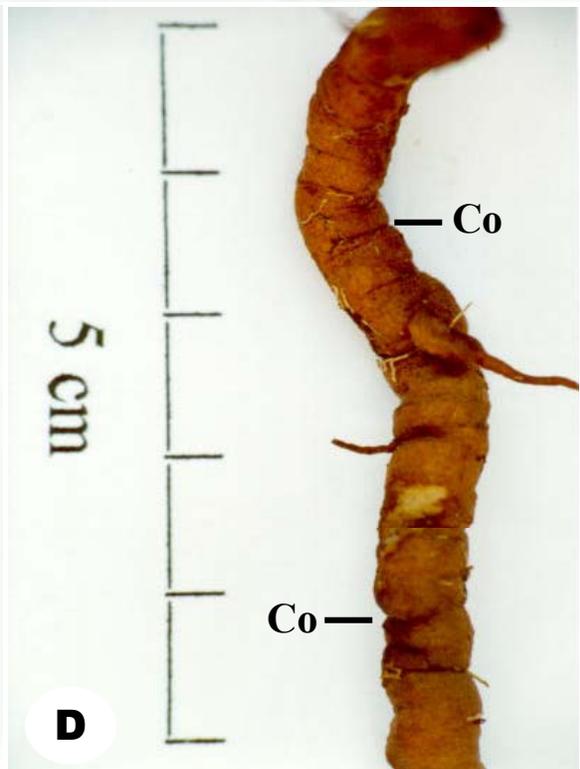
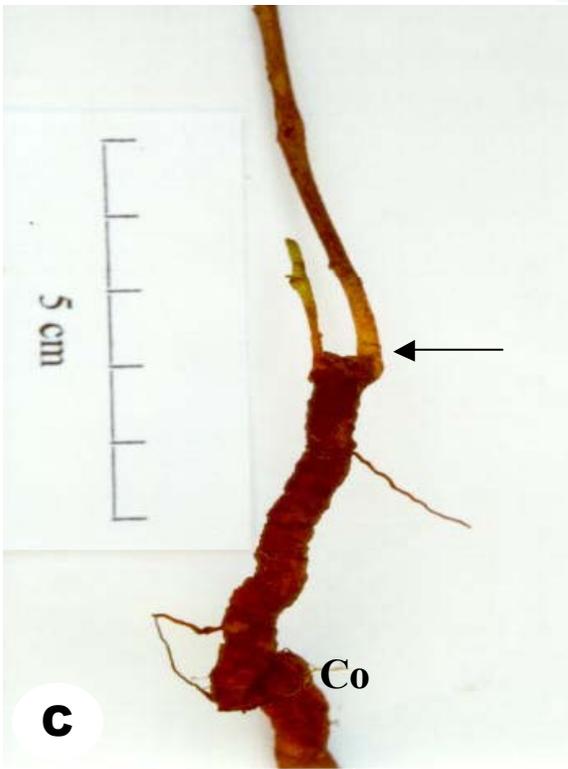
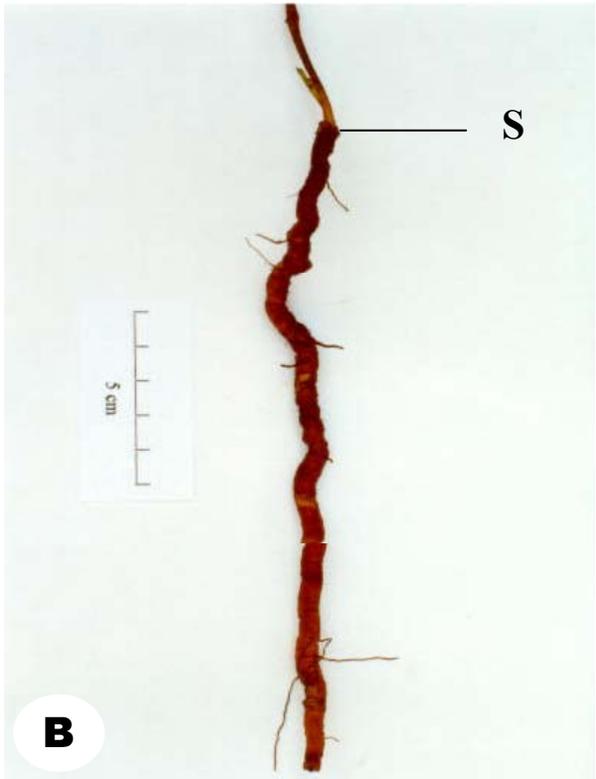


Figura 11. *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart ex Baker. **A.** Vista frontal da porção proximal da raiz tuberosa mostrando a saída de três eixos caulinares (EC). **B.** Corte transversal da estrutura mostrada na figura anterior. **C-D.** Cortes transversais da raiz tuberosa. **C.** Presença de gotas lipídicas coradas com Sudan IV. **D.** Cristais de inulina visualizados sob luz polarizada. Barras: A= 730 μm ; B= 536 μm ; C-D= 199 μm .

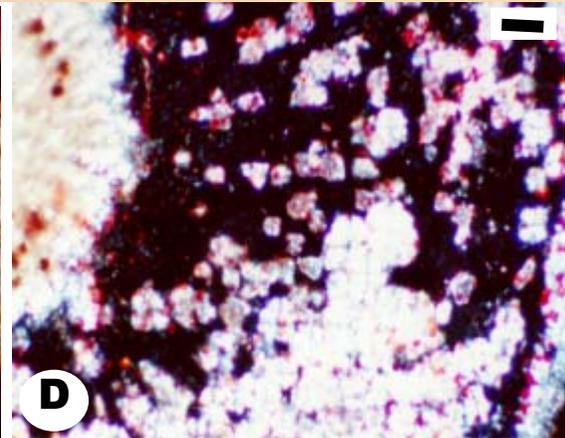
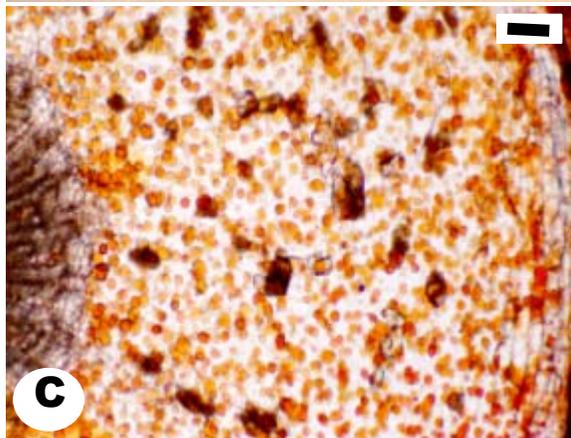
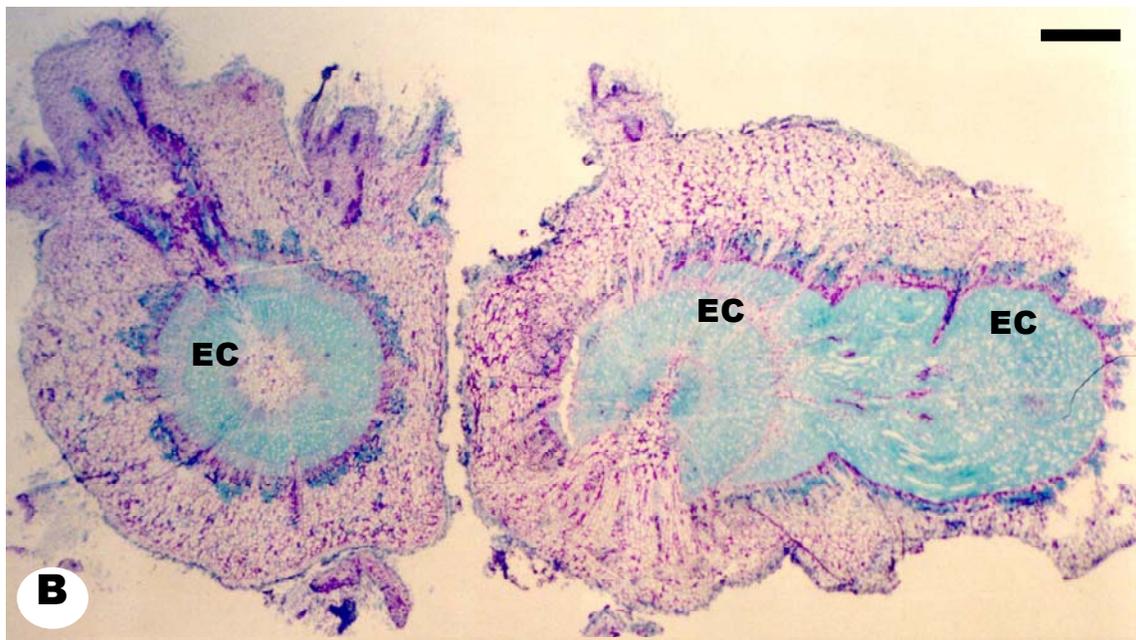
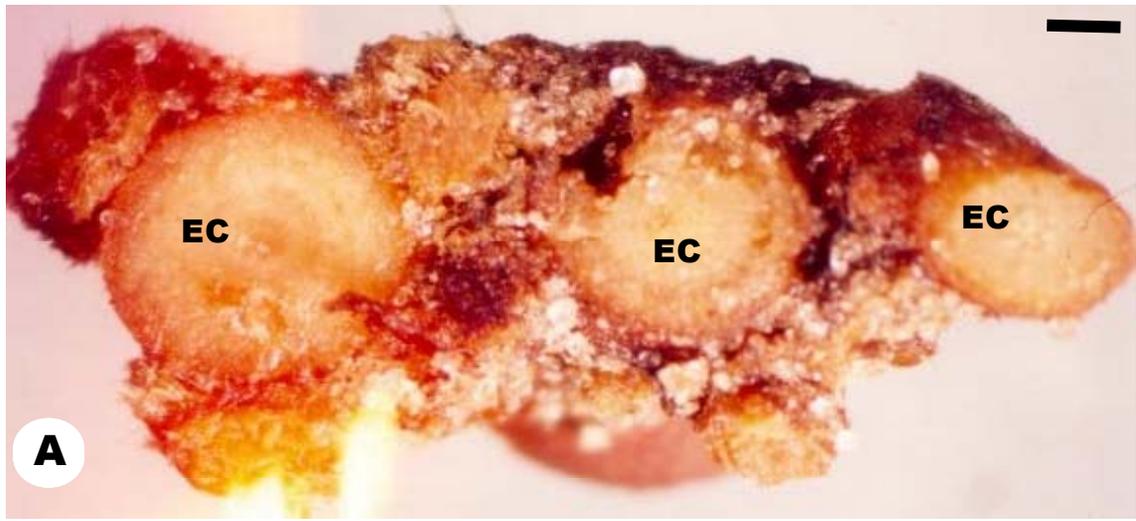


Figura 12. *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart ex Baker. **A.** Vista frontal de uma protuberância (seta). **B.** Corte longitudinal da raiz tuberosa no qual a protuberância (seta maior) apresenta ausência de traço vascular (seta menor) chegando ao cilindro central da raiz. Cortes transversais (**C**, **E**) e longitudinal (**D**) da raiz tuberosa, onde a gema caulinar (**G**) se origina nas camadas mais externas do periciclo proliferado (**Pe**) e não apresenta traços vasculares chegando ao cilindro central da raiz. F= Floema secundário; X= Xilema secundário; x= Xilema primário; P= periderme. Barras: A-B= 294 μm ; C-E= 199 μm .

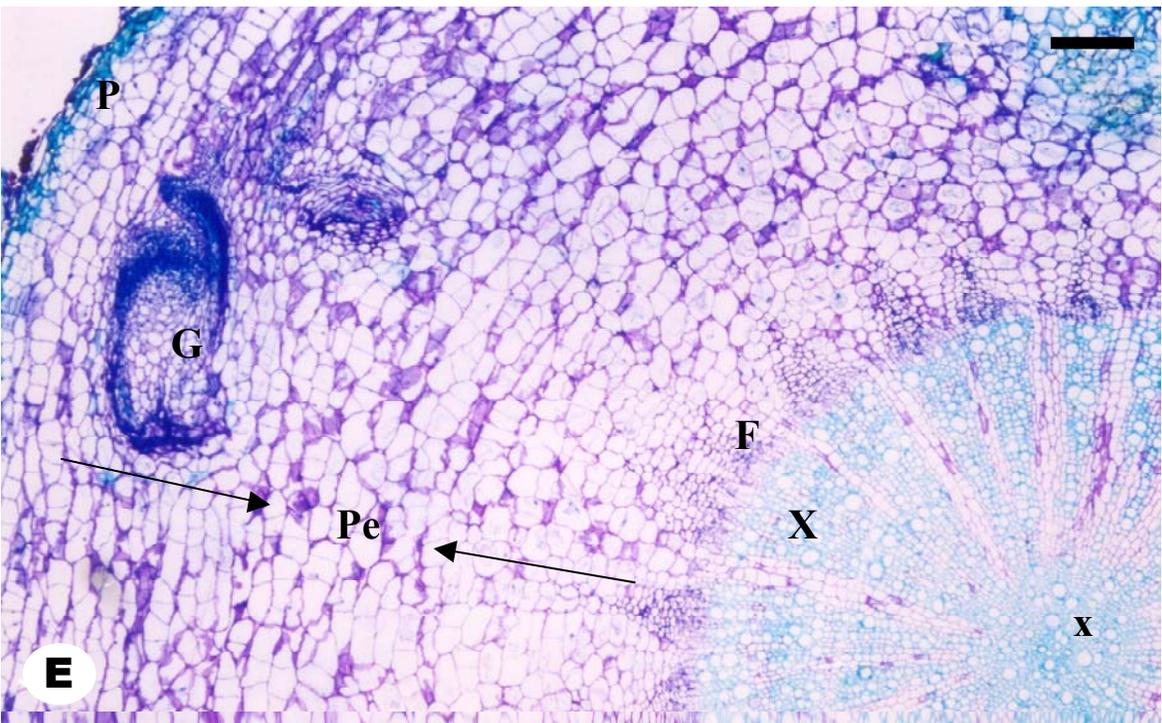
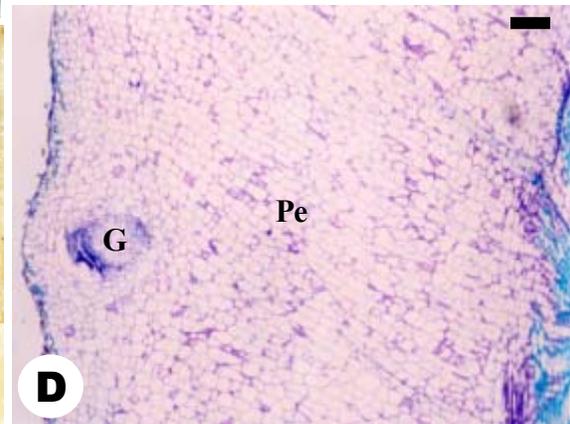
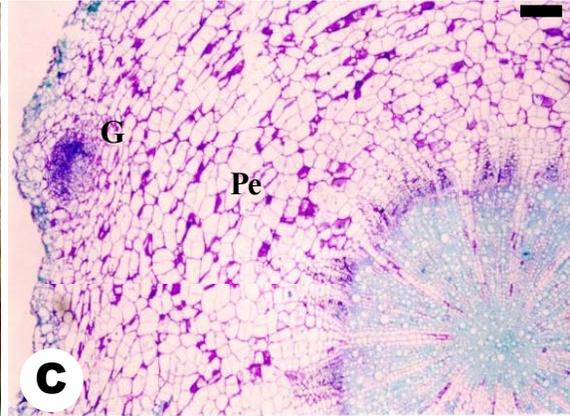


Figura 13. *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart ex Baker. A-B. Cortes transversais da raiz tuberosa, presença da endoderme (E) com estrias de Caspary. X= Xilema secundário, F= Floema secundário, Pc= Parênquima cortical, Pe= Periciclo proliferado. Barras: A= 230 μm ; B= 37 μm .

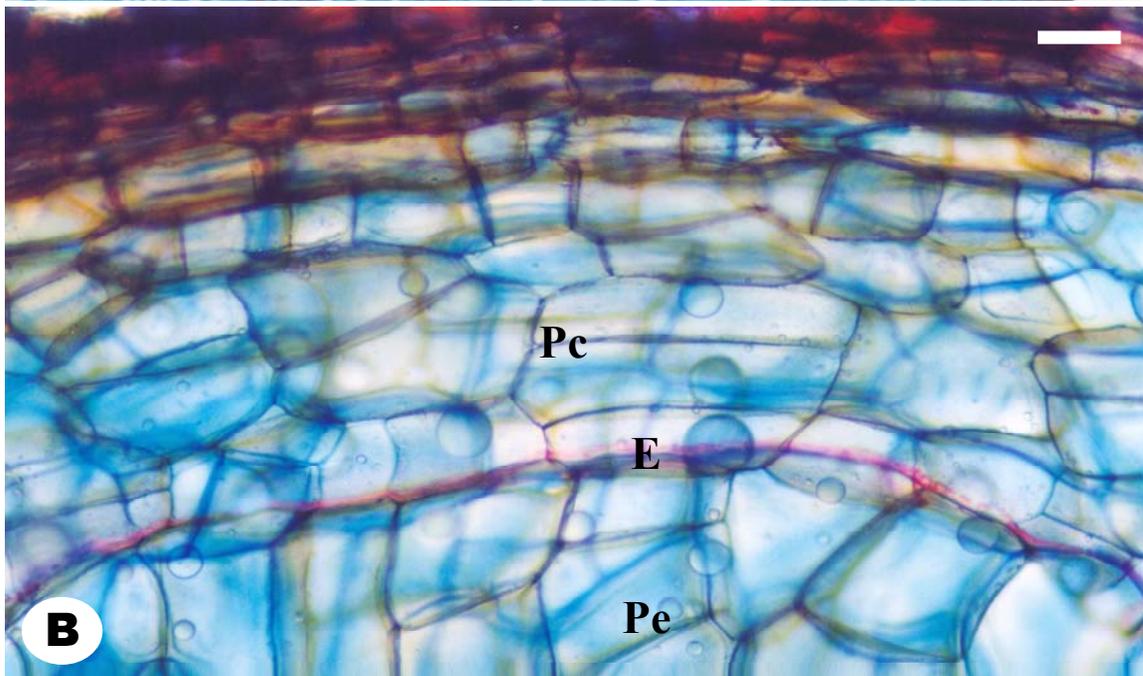
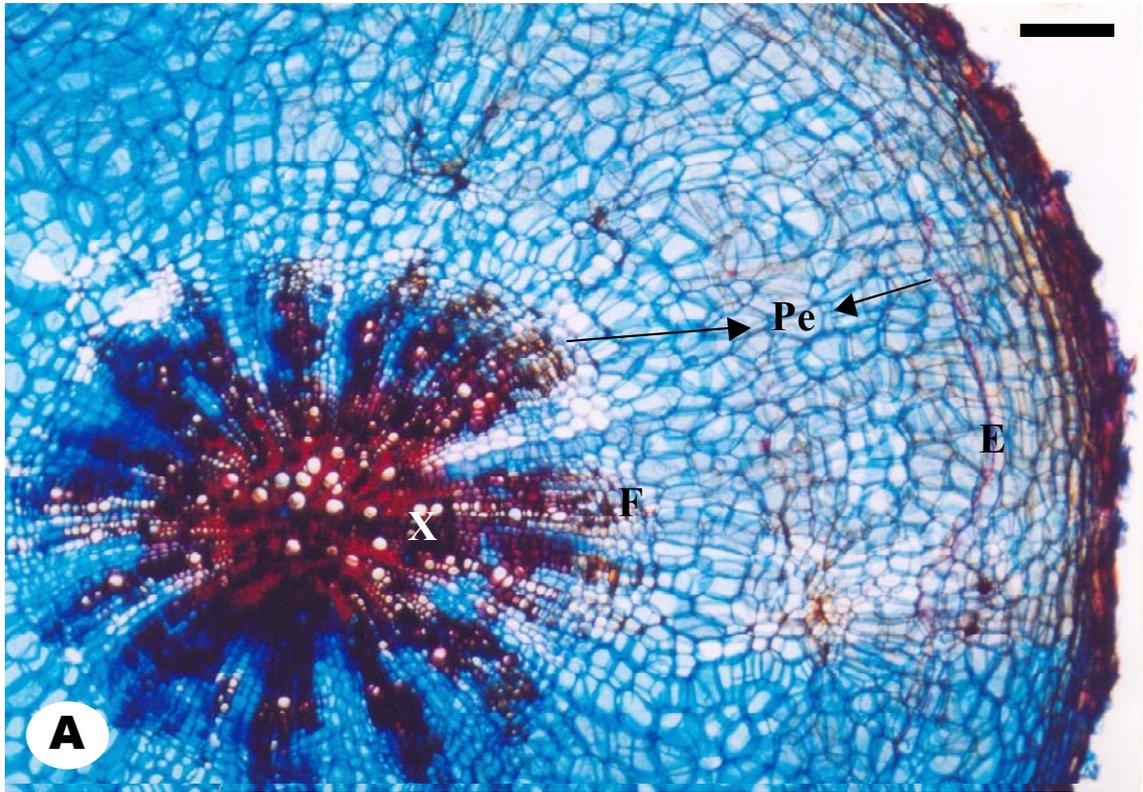


Figura 14. *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart ex Baker. **A.** Vista frontal de uma protuberância (seta). **B.** Corte longitudinal da raiz tuberosa passando pela protuberância mostrada em A, com presença de traço vascular (seta). **C.** Corte longitudinal da raiz tuberosa no qual observa-se um primórdio de raiz lateral (seta) originado nas camadas mais internas do periciclo proliferado (Pe). **D.** Detalhe de uma área de contração da raiz tuberosa. X= Xilema secundário. Barras: A= 188 μm ; B= 620 μm ; C= 74 μm ; D= 199 μm

