

Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria

Stem anatomical analysis of *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* and *E. grandis* x *urophylla*: wood development and its industrial importance

Susan Hussar Brisola¹ e Diego Demarco²

Resumo

Eucalyptus representa o gênero florestal exótico mais importante no Brasil, devido à sua extensa área plantada, bem como pelo seu potencial de utilização como matéria-prima para produção de celulose, papel, carvão, óleos essenciais e madeira. O presente trabalho teve por objetivo analisar anatomicamente o desenvolvimento caulinar de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e de seu híbrido, relacionando suas propriedades estruturais ao seu uso comercial. A descrição baseou-se em secções feitas à mão livre coradas com azul de astra e safranina. O híbrido apresenta diferentes características anatômicas de cada uma das espécies ao longo do seu desenvolvimento. No caule jovem, o híbrido assemelha-se à *E. urophylla* no formato das células epidérmicas, número de camadas de parênquima e de idioblastos taníferos; à *E. grandis*, em relação às cavidades oleíferas de grandes dimensões; e se distingue de ambas pela ausência de esclereides medulares. Já na madeira, o parênquima axial possui menos células e as fibras são mais curtas e possuem paredes mais espessas, fazendo com que este espécime apresente maior densidade da madeira e maior rendimento de celulose em relação às duas espécies parentais. Além disso, o híbrido apresenta crescimento mais rápido e grande quantidade de secreções de defesa, justificando a sua predileção pela indústria.

Palavras-chave: desenvolvimento caulinar, estrutura, tecnologia da madeira, eucalipto, hibridação, importância econômica.

Abstract

Eucalyptus represents the most important exotic forest genus of Brazil due to its vast cultivated area as well as its potential utilization as raw material to produce cellulose, paper, charcoal, essential oils and wood. The present study aims to analyze anatomically the stem development of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and their hybrid, relating their structural properties to the commercial use. The description was based on free-hand sections stained with Astra blue and Safranin. The hybrid shows different anatomical features during its development obtained from the parental species. In the young stem, the hybrid is similar to *E. urophylla* in relation to the shape of epidermal cells, number of parenchyma layers and tanniferous idioblasts; it is similar to *E. grandis* in relation to the wide oil cavities; but it distinguishes itself from both by absence of medullary sclereids. In addition, the hybrid wood possesses fewer axial parenchyma cells and smaller and thicker-walled fibres. This feature increases the hybrid wood density and the cellulose yield in relation to those of parental species. Moreover, the hybrid shows faster growth and high amount of defense secretions, justifying its industrial predilection.

Keywords: stem development, structure, wood technology, eucalypt, hybridization, economic importance.

INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália e apresenta cerca de 680 espécies (MABBERLEY, 2008). No Brasil, o eucalipto foi introduzido em 1903 por Edmundo Navarro de Andrade, juntamente com o melhoramento genético, pois Navarro visava a produção de madeira para carvão e dormentes para a estrada de ferro, bem como

o reflorestamento das áreas nativas que haviam sido derrubadas (MARTINI, 2004).

Eucalyptus representa o gênero florestal exótico mais importante no Brasil, devido à sua grande área plantada, bem como por seu potencial de utilização nas indústrias como matéria-prima (KAGEYAMA; VENCOVSKY, 1983; CARVALHO; NAHUZ, 2001; ALZATE *et al.*, 2005). As diferentes espécies do gênero apresentam alta

¹Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito, 18304-750, Capão Bonito, SP, Brasil - E-mail: susanhussar@hotmail.com

²Professor Doutor, Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 11461, 05508-090, São Paulo, SP, Brasil - E-mail: diegodemarco@usp.br

capacidade de crescer rapidamente, o que as torna matéria-prima indispensável, principalmente na indústria de celulose e papel, cuja demanda é alta. Além disso, a madeira de eucalipto também tem sido utilizada como combustível nas empresas de papel e celulose e como carvão, na indústria siderúrgica. A utilização de madeira de reflorestamento é imprescindível nos dias atuais, pois, desta forma, evita-se a exploração das florestas nativas (BRITO; BARRICHELO, 1977; COMITRE, 1999; MORA; GARCIA, 2000; CARVALHO; NAHUZ, 2001).

O melhoramento florestal em espécies de *Eucalyptus* tem contribuído muito para a silvicultura intensiva no país. O principal motivo pelo qual houve esse aumento foi a necessidade de produtos florestais para celulose, carvão e serrarias (CRISTINA, 2004). O eucalipto é bastante utilizado para reflorestamento, devido à sua resistência a doenças e por se adaptar com facilidade aos mais diferentes habitats (PINTO, 2004; ANGELI *et al.*, 2005; SANTOS, 2005).

Dessa forma, a genética tem contribuído muito para o melhoramento florestal, possibilitando, através de critérios de seleção, obter ganhos máximos para características desejáveis (PAULA *et al.*, 2002; TUNG *et al.*, 2010). Nesse campo, a hibridação tem sido uma prática muito comum no Brasil, mas raramente é realizada a seleção e o melhoramento contínuo entre a população de híbridos (RESENDE; HIGA, 1990). Esse tipo de estudo é extremamente importante, pois é por meio do melhoramento dos próprios híbridos que se podem atingir resultados ainda melhores.

A hibridação em *Eucalyptus* tem grande importância, pois faz com que a idade de corte seja antecipada e a produção e a qualidade da madeira sejam maiores. Para o processo de hibridação, é necessário utilizar a variabilidade genética natural, selecionando-se o material genético ideal para a utilização de uma determinada madeira (FERREIRA, 1992). Os híbridos têm capacidade de apresentar maior rendimento e podem se adaptar a diferentes condições ambientais, além de terem maior resistência a patógenos (CRISTINA, 2004; SANTOS, 2005; SOUZA, 2008), o que os torna desejáveis na silvicultura. Além disso, os estudos para a utilização múltipla da madeira de eucalipto vêm ganhando espaço no setor florestal nos últimos anos (CARVALHO, 2000; CARVALHO; NAHUZ, 2001) e diversos parâmetros devem ser analisados para a recomendação do uso da madeira, seja como madeira sólida (móveis, esquadrias, tacos, uso estrutural etc.)

ou transformada (celulose e papel, laminação, chapas de fibras etc.), dentre eles, a estrutura anatômica (ALZATE *et al.*, 2005).

Todas as propriedades de interesse econômico estão relacionadas com a estrutura e o modo de desenvolvimento destas plantas. O comportamento das propriedades da madeira está intimamente relacionado à estrutura e ao arranjo de suas células (TUNG *et al.*, 2010) e a análise anatômica pode demonstrar porque alguns espécimes são melhores que outros para uma determinada finalidade, permitindo uma seleção mais rápida e precisa das possíveis propriedades e utilidades das espécies e dos híbridos gerados a partir destas.

Segundo SHIMOYAMA (1990), para se caracterizar de maneira tecnológica a madeira de espécies de *Eucalyptus* para os mais diversos fins, é necessário analisá-la anatomicamente, visando caracterizar a sua estrutura e determinar o tamanho das células, bem como as diversas variações estruturais entre as espécies.

Embora as madeiras das diversas espécies de *Eucalyptus* apresentem algumas características anatômicas constantes, tais como vasos solitários de arranjo diagonal, parênquima paratraqueal vasicêntrico e raios unisseriados homocelulares, é possível identificá-las utilizando algumas características particulares (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987; RICHTER; DALLWITZ, 2000; ALZATE, 2009).

O presente trabalho visa analisar anatomicamente a estrutura do caule jovem e da madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill e *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake, que são utilizados com diferentes finalidades na indústria, e do híbrido das duas, *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, relacionando a estrutura do caule jovem e o desenvolvimento da madeira com suas diversas propriedades, a fim de se verificar as características herdadas das espécies parentais que fizeram com que este híbrido se destacasse em relação aos demais. Além disso, uma análise comparativa das dimensões das fibras foi realizada para verificar suas diferenças e vantagens para a indústria de papel e celulose.

MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado no presente estudo foi coletado em plantações de eucalipto no município de Capão Bonito, SP, em abril de 2010, retirando-se ramos vegetativos e madeira de três indivíduos de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *urophylla* com cerca de 6 anos de idade.

Os ramos vegetativos continham cerca de 10 nós, contados a partir de seu ápice, e foram fixados em FAA (formol, ácido acético e álcool etílico 50%) por 24 h (JOHANSEN, 1940) e estocados em álcool etílico 70%. As amostras de madeira foram retiradas na altura do DAP, correspondendo à região de alburno das espécies analisadas, e não foram fixadas.

Regiões de entrenó do caule jovem e a madeira foram seccionadas à mão livre, coradas com azul de astra e safranina e as lâminas montadas em resina sintética. As observações foram realizadas em microscópio de luz Olympus CX21FS1 e os aspectos relevantes, fotografados utilizando-se câmera digital Samsung ES 60.

No presente trabalho, o parênquima radial está sendo denominado raio e o caule com crescimento vascular secundário incipiente e ainda sem a formação de casca (cerca de 2 mm de diâmetro), de caule jovem.

As mensurações de cavidades e raios foram realizadas pela análise de 30 estruturas em microscópio acoplado à câmara clara. Para a avaliação das dimensões das fibras, foram medidos comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume de 50 fibras e determinados os valores das relações entre estas dimensões, expressas pela Fração Parede (relação percentual entre a espessura da parede celular e o raio da fibra); Coeficiente de Flexibilidade (relação percentual entre o diâmetro do lume e a largura da fibra); Índice de Enfeltramento (relação entre o comprimento e a largura da fibra) e Índice de Runkel (relação entre duas vezes a espessura da parede celular e o diâmetro do lume da fibra).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caule jovem

Os caules jovens das duas espécies analisadas apresentam características anatômicas importantes para a sua distinção que permitem visualizar a miscigenação de caracteres herdados pelo híbrido (Tabela 1). Em secção transversal, o caule de *Eucalyptus grandis* (Figura 1A) é retangular, enquanto os de *Eucalyptus urophylla* (Figura 2A) e *Eucalyptus grandis* x *urophylla* (Figura 3A) são circulares. Nos três casos, o caule, possui epiderme unisseriada (Figuras 1B-C, 2B-C, 3B-C); contudo, as células epidérmicas são papilosas recobertas por cutícula espessa em *E. grandis* (Figura 1C), quadradas recobertas por cutícula fina em *E. urophylla* (Figura 2C) e quadradas a ligeiramente achatadas recobertas por cutícula espessa em *E. grandis* x *urophylla* (Figura 3C).

O córtex caulinar do híbrido apresenta composição intermediária entre as espécies parentais. Em *E. grandis*, o córtex é constituído por 10 a 15 camadas de células parenquimáticas e por cavidades oleíferas grandes (Figura 1C-D), com cerca de 78 µm de diâmetro, que ocupam metade de sua largura (Figura 1A-B). Por outro lado, o córtex de *E. urophylla* e *E. grandis* x *urophylla* é mais estreito, apresentando de seis a 10 camadas de células parenquimáticas (Figuras 2B, 3B), mas com cavidades oleíferas de dimensões distintas em cada uma delas. Em *E. urophylla*, elas são pequenas, com cerca de 45 µm de diâmetro, e ocupam um terço da largura do córtex (Figura 2B-C), enquanto em *E. grandis* x *urophylla*, elas são grandes, com cerca de 75 µm de diâmetro, e ocupam metade da largura do córtex (Figura

Tabela 1. Comparação dos caracteres anatômicos do caule jovem de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *urophylla*.

Table 1. Comparative anatomical features of young stems of *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, and *E. grandis* x *urophylla*.

| Caule primário | <i>E. grandis</i> | <i>E. urophylla</i> | <i>E. grandis</i> x <i>urophylla</i> |
|-----------------|---------------------------------|---|---|
| Epiderme | Unisseriada | presente | presente |
| | Formato das células | papilosas | quadradas |
| Córtex | Número de camadas de parênquima | 10 a 15 | seis a 10 |
| | Cavidades oleíferas | presentes (grandes) | presentes (pequenas) |
| | Idioblastos taníferos | raros | presentes em grande quantidade |
| Floema primário | Composição | elementos de tubo crivado, células parenquimáticas e fibras | elementos de tubo crivado, células parenquimáticas e fibras |
| Xilema primário | Composição | elementos de vaso e células parenquimáticas | elementos de vaso e células parenquimáticas |
| | Parênquima | fundamental | fundamental |
| Medula | Esclereídes | presentes (grandes) | ausentes |
| | Cristais | presentes | presentes |

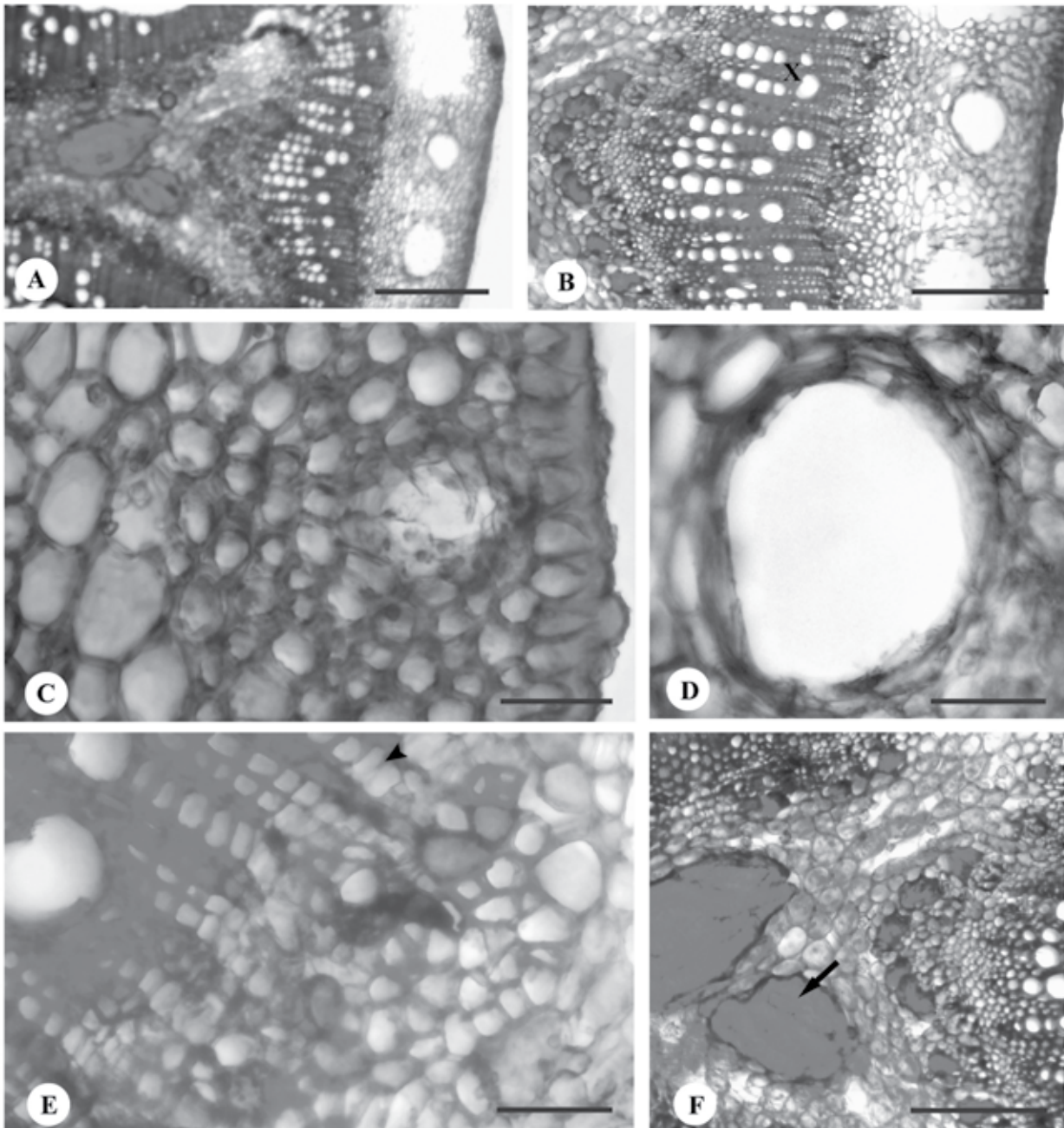


Figura 1. Secções transversais do caule jovem de *Eucalyptus grandis*. A. Vista geral. B. Início do crescimento vascular secundário (X = xilema secundário). C. Córtex. D. Cavidade oleífera. E. Formação de xilema e floema secundários pelo câmbio (cabeça de seta). F. Medula com esclereídes (seta). Barras: A. 300 µm; B,F. 150 µm; C-E. 30 µm.

Figure 1. Transverse sections of the young stem of *Eucalyptus grandis*. A. General view. B. Beginning of secondary vascular growth (X = secondary xylem). C. Cortex. D. Oil cavity. E. Secondary xylem and phloem formation by cambium (arrow head). F. Pith with sclereids (arrow). Bars: A. 300 µm; B,F. 150 µm; C-E. 30µm.

3B-C). A presença de cavidades maiores no híbrido associado ao seu crescimento mais rápido pode indicar uma maior produção de óleo por este espécime em relação às espécies parentais, sendo uma característica importante para a sua defesa contra alguns tipos de patógenos nas plantações. Análise anatômica de folhas de clones desse híbrido mostrou que os indivíduos que possuem maior número e área de cavidades oleíferas, conseqüentemente produzindo mais óleo, são os espécimes mais resistentes contra a ferrugem-do-eucalipto (SOUZA, 2008).

Idioblastos taníferos corticais foram observados em grande quantidade em *E. urophylla* (Figura 2B-C) e *E. grandis x urophylla* (Figura 3A), mas são raros em *E. grandis*. A presença mais acentuada de tanino no híbrido pode representar uma maior proteção contra herbivoria em relação à *E. grandis*.

Em caules com cerca de 2 mm de diâmetro, o câmbio já se instalou (Figuras 1E, 2D, 3D) e começa a produzir xilema e floema secundários, formando um anel contínuo de tecido vascular (Figuras 1A, 2A-B, 3A-B). Contudo, mesmo com o crescimento vascular secundário já iniciado, é

possível perceber que o estelo, que era do tipo eustelo, apresentava feixes bicolaterais (Figura 1B). O floema primário é composto por elementos de tubo crivado, células parenquimáticas (incluindo as células companheiras) e fibras cujas paredes são delgadas no floema externo e espessas a muito espessas no floema interno.

O xilema primário é composto apenas por elementos de vaso e células parenquimáticas (Figuras 1E-F, 2B, D-F, 3B, E-F).

Nos três espécimes, a medula é composta por parênquima fundamental e idioblastos contendo cristais prismáticos (Figuras 1E-F, 2E-F, 3F). Todavia, esclereídes alongadas e muito maiores

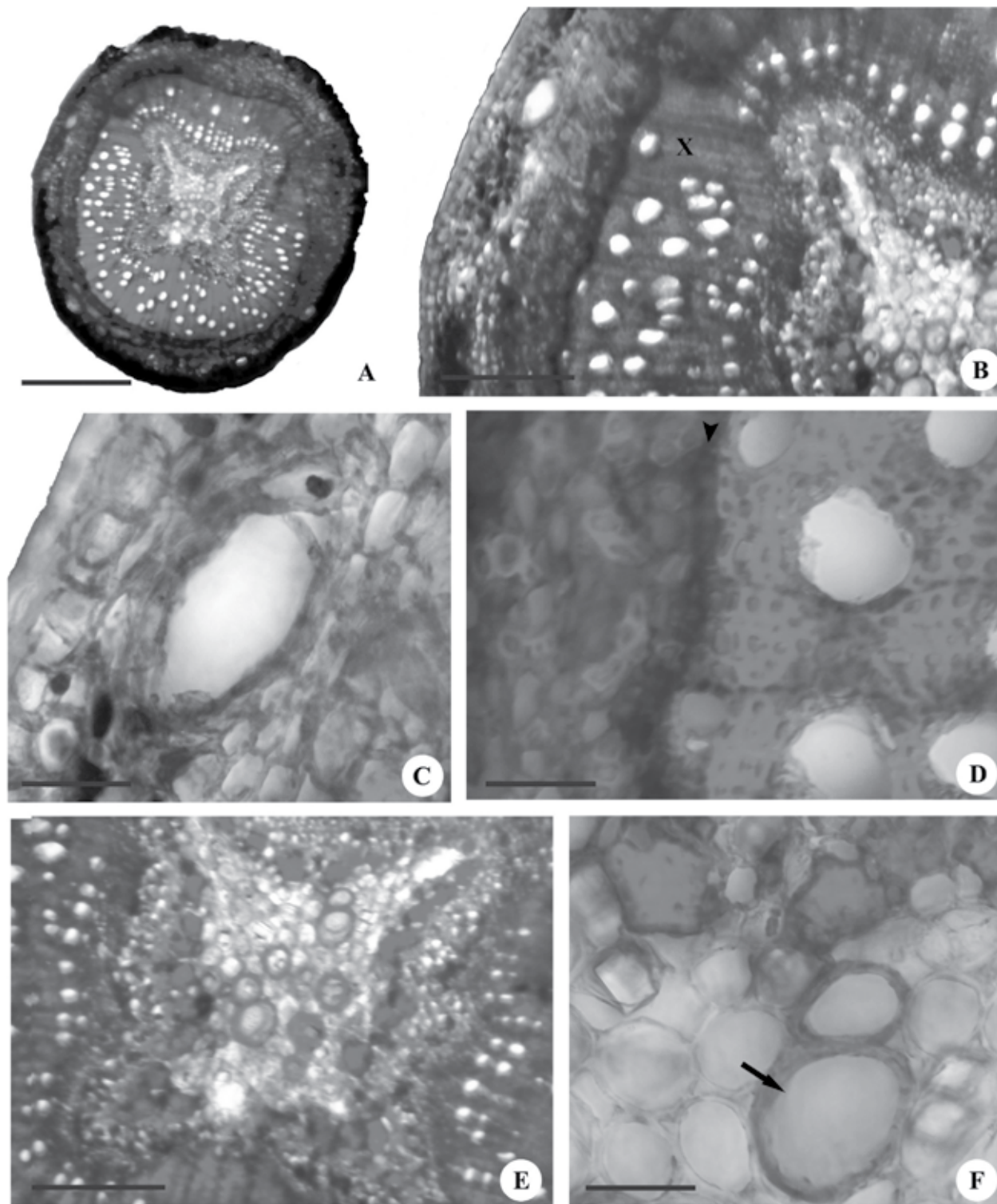


Figura 2. Secções transversais do caule jovem de *Eucalyptus urophylla*. A. Vista geral. B. Início do crescimento vascular secundário (X = xilema secundário). C. Cavidade oleífera. D. Formação de xilema e floema secundários pelo câmbio (cabeça de seta). E-F. Medula com esclereídes (seta). Barras: A. 300 µm; B,E. 150 µm; C-D,F. 30 µm.

Figure 2. Transversal sections of the young stem of *Eucalyptus urophylla*. A. General view. B. Beginning of secondary vascular growth (X = secondary xylem). C. Oil cavity. D. Secondary xylem and phloem formation by cambium (arrow head). E-F. Pith with sclereids (arrow). Bars: A. 300 µm; B,E. 150 µm; C-D,F. 30 µm.

que as células parenquimáticas também estão presentes na medula de *E. grandis* (Figura 1F) e esclereídes pequenas e isodiamétricas, na medula de *E. urophylla* (Figura 2E-F). Não foram observadas esclereídes no híbrido analisado.

Embora a constituição celular do caule jovem dos três espécimes seja semelhante, algu-

mas particularidades observadas no presente estudo permitem distingui-los. Das características anatômicas inventariadas, a presença ou ausência de esclereídes, bem como suas dimensões constituíram características bastante simples para identificar as espécies e o híbrido analisados.

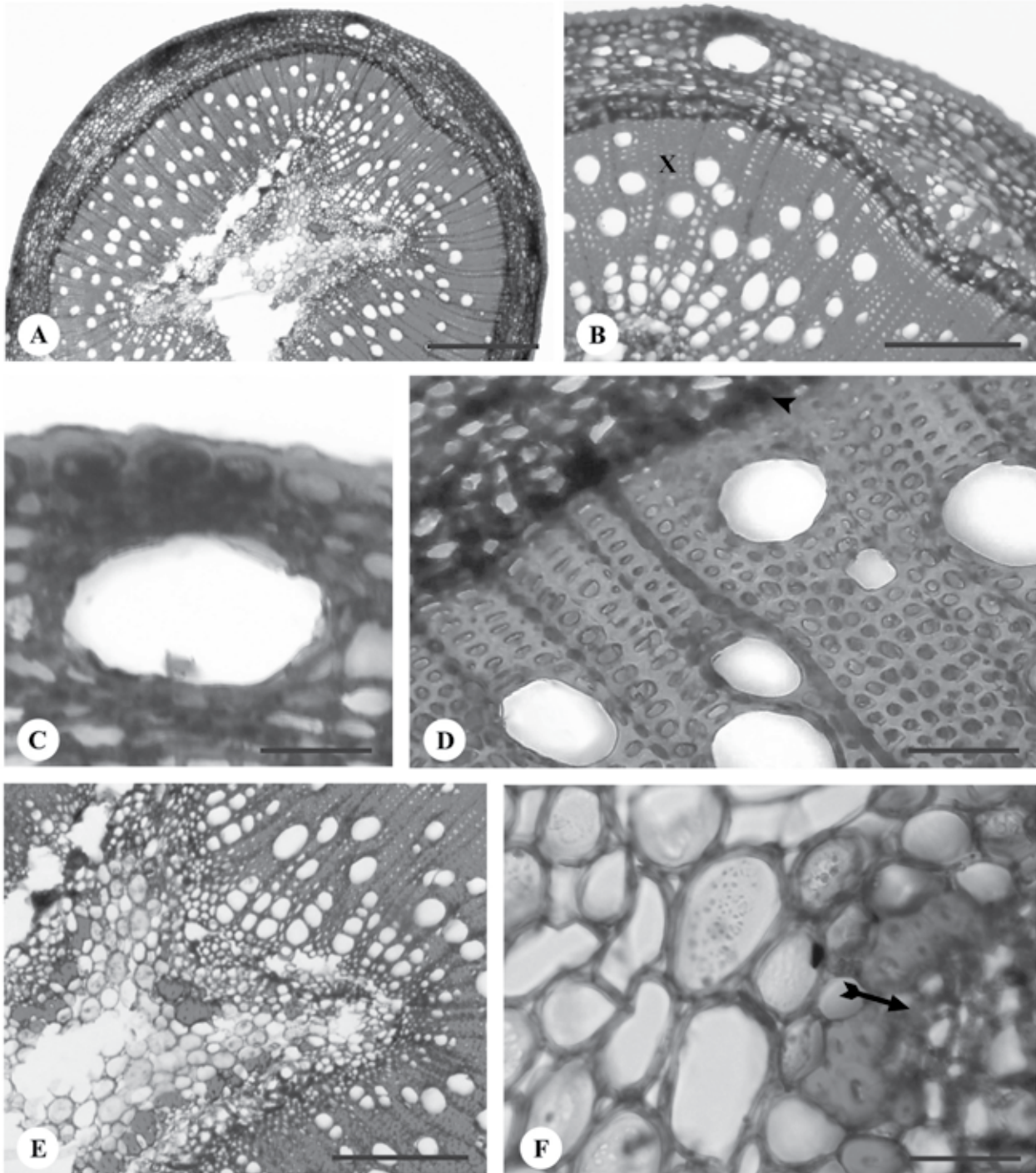


Figura 3. Secções transversais do caule jovem de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. A. Vista geral. B. Início do crescimento vascular secundário (X = xilema secundário). C. Cavidade oleífera. D. Formação de xilema e floema secundários pelo câmbio (cabeça de seta). E-F. Medula e floema interno (seta). Barras: A. 300 µm; B,E. 150µm; C-D,F. 30 µm.

Figure 3. Transversal sections of the young stem of *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. A. General view. B. Beginning of secondary vascular growth (X = secondary xylem). C. Oil cavity. D. Secondary xylem and phloem formation by cambium (arrow head). E-F. Pith and intraxylary phloem (arrow). Bars: A. 300 µm; B,E. 150 µm; C-D,F. 30 µm.

Madeira

A madeira apresentou características organolépticas semelhantes nos eucaliptos analisados. O alburno é bege levemente rosado, com textura fina a média e cheiro indistinto nos três espécimes, e grã direita a inclinada em *E. grandis*, direita a levemente revessa em *E. urophylla* e direita em *E. grandis x urophylla*. Em 21 espécies de *Eucalyptus* investigadas anteriormente, essas também foram as características organolépticas mais comuns (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987).

Características anatômicas

As duas espécies estudadas, assim como o híbrido, possuem estrutura anatômica do lenho muito semelhante (Tabela 2). Angyalossy-Alfonso (1987) também verificou essa homogeneidade da estrutura da madeira ao estudar 21 espécies de *Eucalyptus*, incluindo *E. grandis* e *E. urophylla*.

Os vasos são notados a olho nu; possuem seção ovalada a circular (Figuras 4A-D, 5A-B, 6A-D) e distribuição difusa; eles são exclusivamente solitários, dispostos em diagonal (Figuras 4A-B, 5A, 6A-C), predominantemente numerosos e médios com placa de perfuração simples (Figuras 4E, 5C, G, 6E, H) e pontoações intervasculares alternas e radiovasculares arredondadas e simples (Figuras 4H, 5I, 6I). A ocorrência de vasos de pequeno diâmetro isolados é comum em *E. urophylla* (Figura 5A, D) e *E. grandis x urophylla* (Figura 6A-B). Em outras espécies deste gênero, os vasos apresen-

tam diâmetros que variam de muito pequenos a médios, com pontuações intervasculares guardadas, pontuações radiovasculares arredondadas a alongadas e placa de perfuração simples (OLIVEIRA; FREITAS, 1970; DADSWELL, 1972; TOMAZELLO FILHO, 1985; ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987). No cerne das madeiras de eucalipto, a ocorrência de vasos obstruídos por tilos é comum (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987), mas não foram observados no presente trabalho, pois foi analisada unicamente a região do alburno.

As fibras ocorrem em grande proporção nas madeiras de eucalipto (Figuras 4A-C, 5A-B, D, 6A-D) e essa característica é de grande importância econômica na produção tanto de celulose e papel quanto para a qualidade da madeira serrada (CARVALHO; NAHUZ, 2001). Esse fato já pode ser constatado desde o início da formação do lenho (Figuras 1A-B, 2A-B, D, 3A-B, D).

O melhoramento de espécies faz com que seja possível maior rendimento da madeira, resistência a pragas, adaptação a vários sítios florestais e climas, além de crescimento em menor tempo (CRISTINA, 2004). Um exemplo é o *E. grandis x urophylla*, o híbrido mais utilizado em reflorestamentos brasileiros, que possui melhores características da madeira, além de ser mais produtivo e se adaptar a diferentes sítios florestais (MONTANARI *et al.*, 2007), sendo uma das principais fontes de matéria-prima para a indústria nacional de celulose (CARVALHO, 2000).

Tabela 2. Comparação dos caracteres anatômicos da madeira de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*.

Table 2. Comparative anatomical features of the wood of *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, and *E. grandis x urophylla*.

| Madeira | <i>E. grandis</i> | <i>E. urophylla</i> | <i>E. grandis x urophylla</i> |
|------------------|----------------------------|--|--|
| Vasos | Secção transversal | ovalada a circular | ovalada a circular |
| | Porosidade | difusa | difusa |
| | Agrupamento | solitários | solitários |
| | Tamanho | médios | médios |
| | Placa de perfuração | simples | simples |
| | Pontoações intervasculares | alternas | alternas |
| | Pontoações radiovasculares | arredondadas e simples | arredondadas e simples |
| Fibras | Comprimento | curtas | curtas |
| | Largura | estreitas a médias | estreitas a médias |
| | Espessura da parede | delgadas a espessas | delgadas a espessas |
| Traqueídes | Vasicêntricas | presentes | presentes |
| Parênquima axial | Paratraqueal | vasicêntrico | vasicêntrico e aliforme |
| | Largura | duas a três | uma a duas |
| | Confluência | curtas e oblíquas | curtas e oblíquas |
| Raios | Composição | células procumbentes | células procumbentes |
| | Largura | unisseriado, eventualmente localmente bisseriado | unisseriado, eventualmente localmente bisseriado |
| | Altura | 4-11-15 células | 6-15-18 células |
| | Deposição de conteúdo | tanino | tanino |

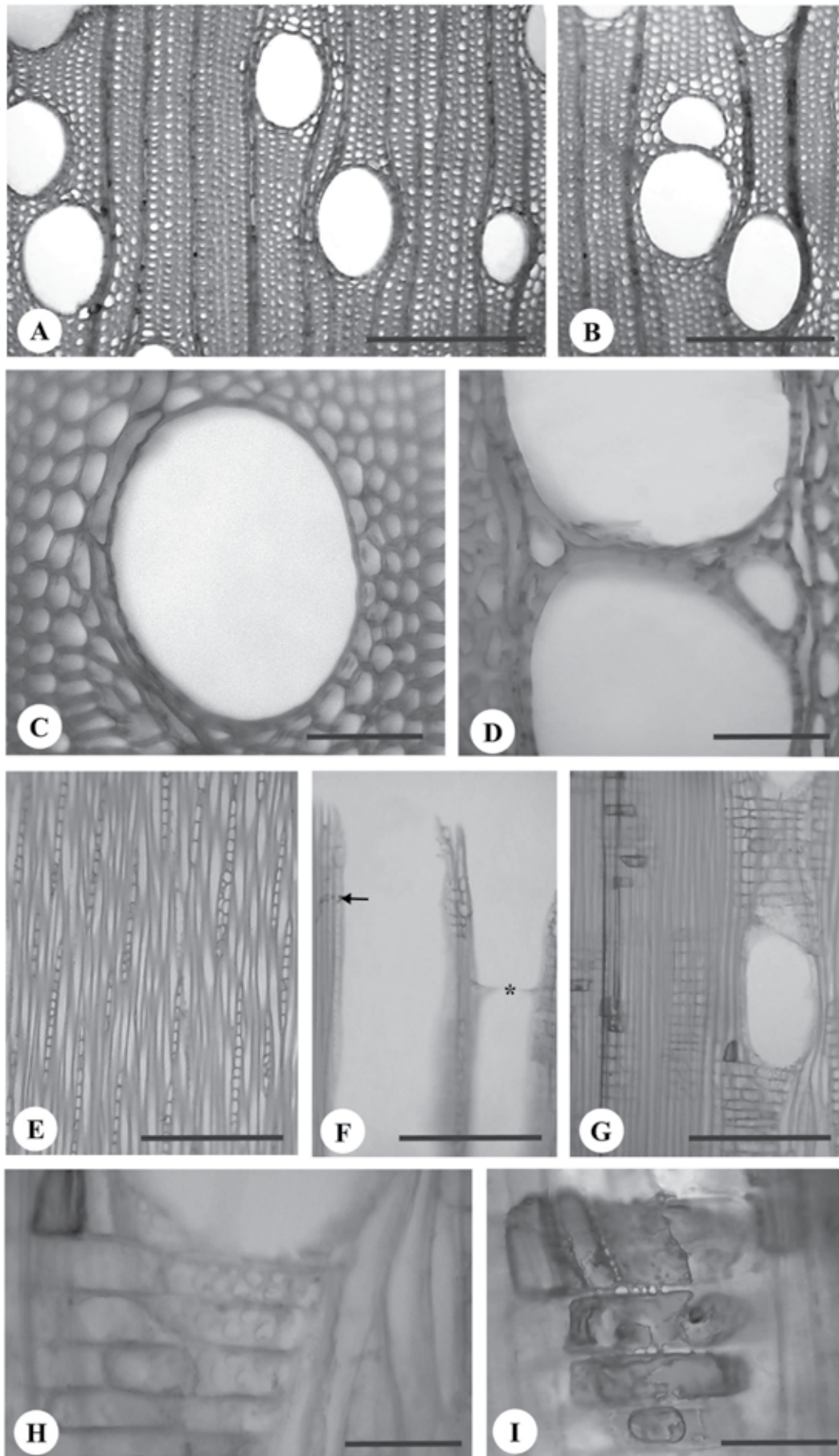


Figura 4. Secções transversais (A-D) e longitudinais tangenciais (E-F) e radiais (G-I) do lenho de *Eucalyptus grandis*. (seta = traqueíde; asterisco = placa de perfuração) Barras: A-B,E-G. 150 µm; C-D,H-I. 30 µm.

Figure 4. Transversal (A-D), tangential (E-F) and radial (G-I) sections of *Eucalyptus grandis* wood. (arrow = tracheid; asterisk = perforation plate). Bars: A-B,E-G. 150 µm; C-D,H-I. 30 µm.

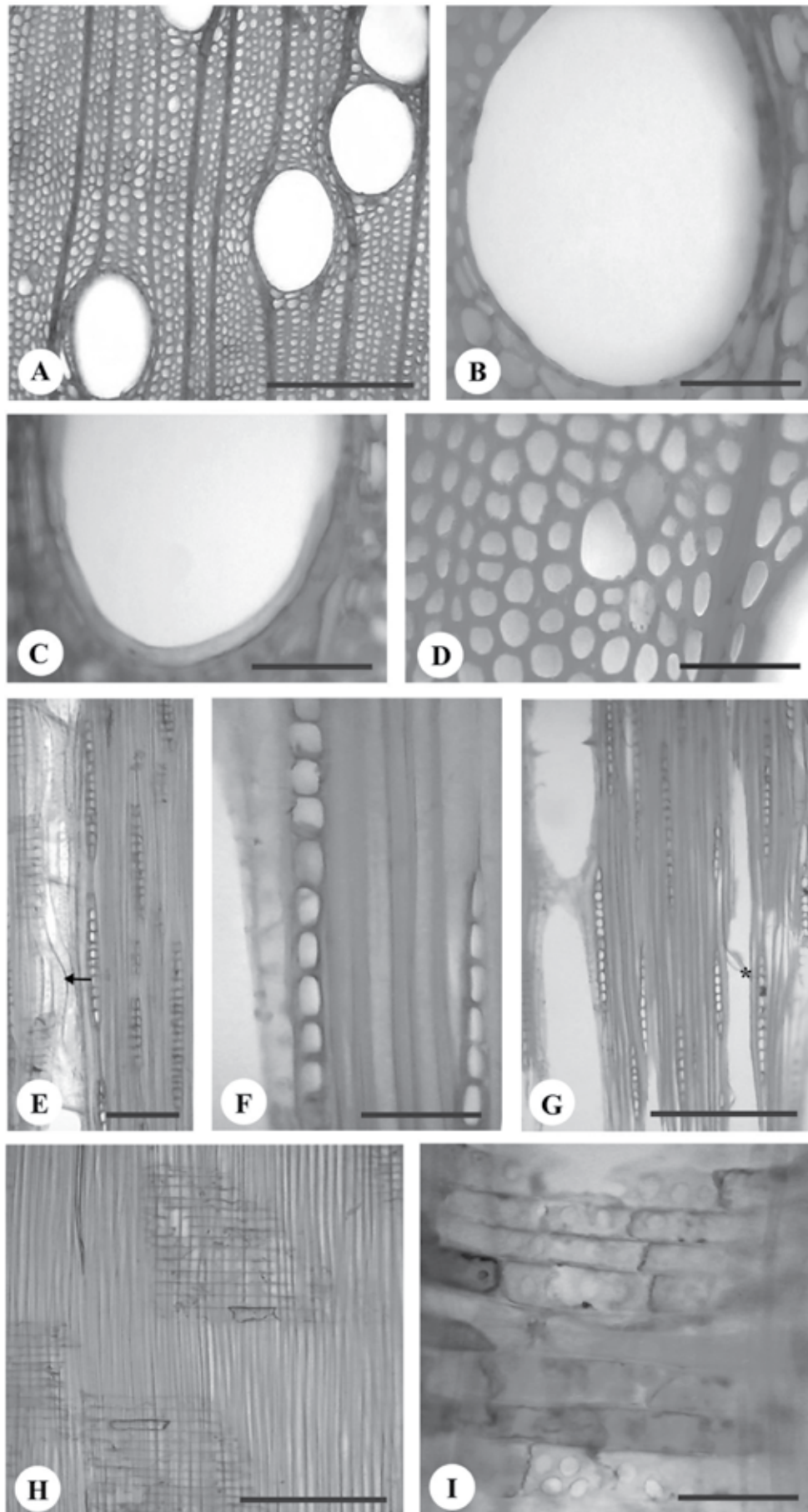


Figura 5. Secções transversais (A-D) e longitudinais tangenciais (E-G) e radiais (H-I) do lenho de *Eucalyptus urophylla*. (seta = traqueídes; asterisco = placa de perfuração). Barras: A,G,H. 150 μ m; E. 75 μ m; B-D,F,I. 30 μ m.
Figure 5. Transversal (A-D), tangential (E-G) and radial (H-I) sections of *Eucalyptus urophylla* wood. (arrow = tracheids; asterisk = perforation plate). Bars: A,G,H. 150 μ m; E. 75 μ m; B-D,F,I. 30 μ m.

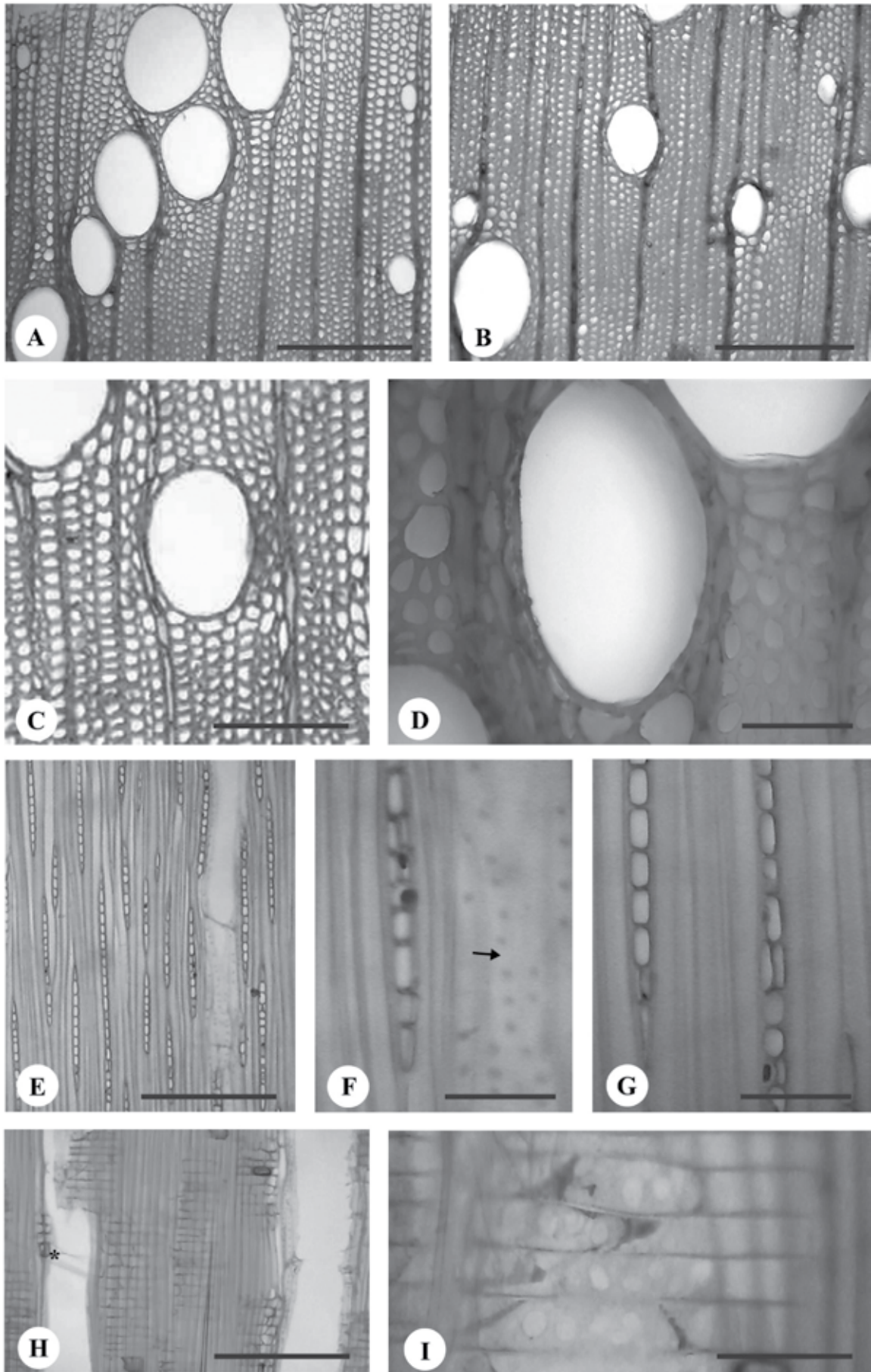


Figura 6. Secções transversais (A-D), longitudinais tangenciais (E-G) e radiais (H-I) do lenho de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. (seta = traqueídes; asterisco = placa de perfuração). Barras: A-B,E,H. 150 μ m; C. 75 μ m; D,F-G,I. 30 μ m.

Figure 6. Transversal (A-D), tangential (E-G) and radial (H-I) sections of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* wood. (arrow = tracheids; asterisk = perforation plate). Bars: A-B,E,H. 150 μ m; C. 75 μ m; D,F-G,I. 30 μ m.

Embora as fibras sejam descritas como curtas, estreitas a médias, com paredes delgadas a espessas nos três espécimes (Figuras 4C-D, 5D, 6C-D), a comparação entre suas dimensões (Tabela 3) mostra que as fibras de *E. grandis* x *urophylla* apresentam comprimento semelhante ao das espécies parentais, mas com paredes mais espessas, sendo uma das características que fazem com que esse híbrido possua um maior rendimento de celulose em relação às espécies parentais que, associado ao seu crescimento mais rápido, o torna economicamente mais viável à indústria de celulose e papel. Embora ocorram variações nas características anatômicas e químicas da madeira no sentido da medula para a casca da maioria das espécies madeireiras (EVANGELISTA *et al.*, 2010; LONGUI *et al.*, 2010; TUNG *et al.*, 2010), as dimensões das fibras obtidas no presente trabalho são condizentes com as relatadas anteriormente para as mesmas espécies e híbrido (TOMAZELLO FILHO, 1985; ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987; CARVALHO; NAHUZ, 2001). Em *E. urophylla*, EVANGELISTA *et al.* (2010) descreveram a presença de fibras mais longas, com maior diâmetro, paredes mais espessas e redução do lume próximo à casca com valores semelhantes aos obtidos no presente trabalho ao se analisar a região de alburno desta espécie.

Em trabalhos anteriores, observou-se que, na maioria dos casos, *E. urophylla* possui fibras com maior espessura de parede, que fornecem maior volume e resistência ao papel (SHIMOYAMA, 1990). Esta é uma das características desejadas no cruzamento da espécie com *E. grandis*. No presente estudo, a fração parede de 61% no híbrido indica um significativo aumento, se comparada a valores obtidos para o *E. grandis* puro (51,57%) e é semelhante ao encontrado para *E. urophylla* (60%). Quanto às variáveis de rendimento e qualidade da polpa de celulose, o material de *E. grandis* x *urophylla* atinge valores bastante satisfatórios, caracterizando uma madeira adaptada à indústria de celulose (CARVALHO; NAHUZ, 2001).

Segundo FOELKEL *et al.* (1978), *E. urophylla* e seus híbridos requerem menores volumes de madeira por tonelada de celulose de qualidade similar em relação às demais espécies de média densidade, além da celulose apresentar resistência físico-mecânica razoável. GONZAGA (1983) afirma que a característica determinante que se correlaciona com a qualidade da polpa de celulose produzida é a densidade e ALZATE *et al.* (2005) demonstraram que a madeira do híbrido *E. grandis* x *urophylla* possui maior densidade básica média em todas as posições no sentido base-topo em relação a *E. grandis* e *E. saligna*.

A densidade básica pode variar entre as espécies, de acordo com a localidade de plantio, procedência das sementes, técnicas de manejo, idade de exploração (FERREIRA; KAGEYAMA, 1978), sendo essa característica de grande importância na indústria de celulose e papel, bem como da madeira serrada. Segundo Carvalho e Nahuz (2001), o que se objetiva na hibridação de eucalipto é um bom crescimento no campo, característica de *E. grandis*, uma ligeira elevação na densidade da madeira, uma melhoria no rendimento e propriedades físicas da celulose produzida, trazidas pelo *E. urophylla*. SHIMOYAMA (1990) não encontrou diferenças significativas entre a composição química da madeira do *E. grandis* e do *E. urophylla*.

Uma característica comum a todas as madeiras de espécies de *Eucalyptus* estudadas até o presente momento é a ocorrência de traqueídes vasicêntricas (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987), as quais também foram observadas no presente estudo em todos os materiais analisados (Figuras 4F-G, 5E, 6F).

O parênquima axial é pouco abundante e forma confluências oblíquas nos três espécimes, sendo paratraqueal vasicêntrico, com duas a três camadas de células de largura (Figura 4A-B) e duas a seis células por série em *E. grandis*; paratraqueal vasicêntrico e raramente aliforme, com uma a duas camadas de células de largura (Figura 5A) e duas a

Tabela 3. Mensurações das fibras.

Table 3. Fibre measurements.

| Espécies | Comprimento das fibras (mm) | Diâmetro da fibra (µm) | Espessura da parede (µm) | Diâmetro do lume (µm) | Fração parede (%) | Coefficiente de flexibilidade (%) | Índice de enfilamento | Índice de Runkel |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 1,15 | 19 | 4,9 | 9,2 | 51,57 | 48,43 | 60,52 | 1,06 |
| <i>Eucalyptus urophylla</i> | 1,12 | 18 | 5,4 | 7,2 | 60 | 40 | 62,22 | 1,5 |
| <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i> | 1,1 | 20 | 6,1 | 7,8 | 61 | 39 | 55 | 1,56 |

quatro células por série em *E. urophylla*; e paratraqueal vasicêntrico com uma a duas camadas de células de largura (Figura 6A-6C) e, eventualmente, aliforme (Figura 6B), com duas a cinco células por série em *E. grandis* x *urophylla*. Esses tipos de parênquima axial são condizentes com o observado anteriormente (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987).

Os raios são numerosos, homogêneos, compostos por células procumbentes (Figuras 4G-I, 5H-I, 6H-I), exclusivamente unisseriados e eventualmente localmente bisseriados (Figuras 4E, 5F-G, 6E-G) com conteúdo tanífero (Figuras 4G, I, 5G, I, 6E, H). Os espécimes variaram apenas quanto à altura dos raios, possuindo 4-11-15 células em *E. grandis*, 6-15-18 células em *E. urophylla* e 2-11-24 células em *E. grandis* x *urophylla*. Embora os raios sejam apenas eventualmente localmente bisseriados, segundo Carlquist (1970), Baas (1982), Chalk (1983) e Fahn *et al.* (1986), variação na largura dos raios pode ocorrer devido às mudanças climáticas. Espécies estudadas por Dadswell e Burnell (1932), Dadswell e Eckersley (1941) e Dadswell (1972) na Austrália são caracterizadas por apresentarem raios largos, com até três células de largura. Segundo Dadswell e Stewart (1962) e Stewart e Watson (1962), o lenho das espécies de *Eucalyptus* apresenta consideráveis quantidades de substância tanífera, o que corrobora o observado nos raios das espécies e do híbrido estudados.

Nas espécies analisadas no presente estudo, canais axiais traumáticos não foram observados; contudo, essas estruturas foram registradas em sete espécies do gênero (TIPPETT, 1986; ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987). Cristais prismáticos foram observados apenas em caules jovens, mas são comuns no floema secundário de espécies de *Eucalyptus* (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987).

CONCLUSÃO

O híbrido apresenta caule jovem com características de ambas as espécies, assemelhando-se à *E. urophylla* no formato das células epidérmicas, número de camadas de parênquima cortical e quantidade de idioblastos taníferos; à *E. grandis*, em relação às dimensões das cavidades oleíferas; e se distingue de ambas por não apresentar esclereídes medulares. A presença de cavidades oleíferas grandes e de elevado número de idioblastos taníferos pode indicar uma maior proteção dos ramos jovens do híbrido contra patógenos, microorganismos e, possivelmente contra herbivoria, em relação às espécies parentais.

Já na madeira, os vasos do híbrido possuem tamanho médio, como os de *E. grandis* e *E. urophylla*, contudo o parênquima paratraqueal é semelhante ao de *E. urophylla*, sendo vasicêntrico e aliforme, enquanto *E. grandis* apresenta apenas parênquima vasicêntrico. A parede da fibra apresentou espessura superior à de *E. grandis* e *E. urophylla* e a fração parede é semelhante à de *E. urophylla*, sendo essa característica, a desejável nesse híbrido, além do seu rápido crescimento em altura e volume, semelhante a *E. grandis*, fazendo com que sua utilização seja mais rápida e o custo do produto final menor. Podendo-se concluir que o alto índice de crescimento e o seu maior rendimento de celulose foram as características que levaram ao cruzamento dessas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZATE, S.B.A. Estrutura anatômica da madeira de clones de *Eucalyptus*. *Revista Investigaciones Aplicadas*, Medellín, v.5, n.1, p.1-14, 2009.
- ALZATE, S.B.A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S.M.S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.68, p.87-95, 2005.
- ANGELI, A.; BARRICHELO, L.E.G.; MÜLLER, P. H. **Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus***. Piracicaba: IPEF, 2005. Disponível em: < <http://www.ipef.br/identificacao/Eucalyptus/indicacoes.asp> >. Acesso em: 31 ago 2011.
- ANGYALOSSY-ALFONSO, V. **Caracterização Anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit. cultivadas no Brasil**. 1987. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- BAAS, P. Systematic, phylogenetic, and ecological wood anatomy - history and perspectives. In: _____ **New perspectives in wood anatomy**. Martiorus Nijhoff: W. Junk Publishers, 1982. p.23-58.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. *IPEF*, Piracicaba, n.14, p.9-20, 1977.

- CARLQUIST, S. Wood anatomy of Hawaiian, Macaronesian, and other species of *Euphorbia*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v.63, suppl. p.181-193, 1970.
- CARVALHO, A.M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 2000. 129p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- CARVALHO, A.M.; NAHUZ, M.A.R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.59, p.61-76, 2001.
- CHALK, L. The effects of ecological conditions on wood anatomy. In: METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford: Clarendon Press, 1983. p.152-156.
- COMITRE, V. **O consumo de energia no setor de papel e celulose e impactos na agricultura**. 1999. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- CRISTINA, K. Melhoramento de essências florestais. **Revista da madeira**, v.14, n.83, p.60-62, 2004.
- DADSWELL, H.E. **The anatomy of eucalypt woods**. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Melbourne: Division of Applied Chemistry Technological, 1972. 34p. (Division of Forest Products Technical Paper n°66).
- DADSWELL, H.E.; BURNELL, M. **Methods for the identification of the coloured woods of the genus *Eucalyptus***. Melbourne: Council for Scientific and Industrial Research, 1932. 35p. (Division of Forest Products Technical Paper n° 5).
- DADSWELL, H.E.; ECKERSLEY, A.M. The card sorting method applied to the identification of the commercial timbers of the genus *Eucalyptus*. **Journal of the Council for Scientific and Industrial Research**, Melbourne, v.14, p.266-280, 1941.
- DADSWELL, H.E.; STEWART, C.M. **Chemical utilization of the eucalypts. I. Introductory review to 1956**. Melbourne: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1962. 39p. (Division of Forest Products Technical Paper n° 17)
- EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.86, p.273-284, 2010.
- FAHN, A.; WERKER, E.; BAAS, P. **Wood anatomy and identification of trees and shrubs from Israel and adjacent regions**. Jerusalem: The Israel Academy of Sciences and Humanities, 1986. 221p.
- FERREIRA, M. O Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, Piracicaba, n.45, p.22-30, 1992.
- FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba v.6, n.20, p. A1-A15, 1978.
- FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J.; MEDEIROS, S.J. Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. **CENIBRA Pesquisa**, Belo Oriente, v.68, p.1-31, 1978.
- GONZAGA, J.V. **Qualidade da madeira e da celulose kraft de treze espécies de *Eucalyptus***. 1983. 163p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.
- JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. McGraw-Hill: New York, 1940. 523p.
- KAGEYAMA, P.Y.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **IPEF**, Piracicaba, n.24, p.9-26, 1983.
- LONGUI, E.L.; LIMA, I.L.; SILVA JÚNIOR, F.G.; BUFOLO, A.; SUCKOW, I.M.S.; FLORSHEIM, S.M.B. Variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose na madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.341-353, 2010.

- MABBERLEY, D.J. **Mabberley's plant-book: a portable dictionary of plants, their classifications, and uses.** 3ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 1040p.
- MARTINI, A.J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade.** 2004. 320p. Dissertação (Mestrado em História Social) – Faculdade de Filosofia, História e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MONTANARI, R.; JUNIOR, J.M.; CAMPOS, M.C.C.; HERBERT, I.; CAVALCANTE, L. Níveis de resíduos de metalurgia e substrato na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.7, n.1, p.59-66, 2007.
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil.** Sociedade Brasileira de Silvicultura: São Paulo, 2000. 111p.
- OLIVEIRA, J.S.; FREITAS, M.C. Eucaliptos de Namaacha. **Revista de Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v.3, n.2, série B, p.1-230, 1970.
- PAULA, R.C.; PIRES, I.E.; BORGES, R.C.G.; CRUZ, C.D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.159-165, 2002.
- PINTO JUNIOR, J.E. **REML / BLUP para a análise de múltiplos experimentos no melhoramento genético de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R. Estratégia de melhoramento para eucaliptos visando a seleção de híbridos. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n.21, p.49-60, 1990.
- RICHTER, H.G.; DALLWITZ, M.J. **Onwards Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**, 2000. Disponível em: <<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/wood.html>>. Acesso em: 31 ago. 2011
- SANTOS, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. 160p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- SOUZA, R.R.S. **Caracterização anatômica quantitativa e composição de óleos essenciais em três estágios foliares de clones de eucalipto e sua relação com a ferrugem.** 2008. 106p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- STEWART, C.M.; WATSON, A.J. **Chemical utilization of the eucalypts. II. Review, 1951 to 1961, including bibliography.** Melbourne: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1962. (Division of Forest Products Technical Paper nº 17)
- TIPPETT, J.T. Formation and fate of Kino veins in *Eucalyptus* L'Hérit. **IAWA Bulletin**, Leuven, v.7, p.137-143, 1986.
- TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, Piracicaba, n.29, p.25-36, 1985.
- TUNG, E.S.C.; FREITAS, M.L.M.; FLORSHEIM, S.M.B.; LIMA, I.L.; LONGUI, E.L.; SANTOS, F.W.; MORAES, M.L.T.; SEBBENN, A.M. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos da madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. **Alle. Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.499-508, 2010.

Recebido em 16/12/2010
Aceito para publicação em 11/08/2011