

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a),
o texto completo desta tese será disponibilizado
somente a partir de 28/02/2019.



unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



Pós-graduação
Botânica
Unesp - Botucatu

Anatomia, densidade e condutividade hidráulica potencial do xilema secundário de árvores de três procedências de *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae) em plantios homogêneos

JANE RODRIGUES DA SILVA

Tese apresentada ao Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Área de concentração Morfologia e Diversidade Vegetal.

Botucatu - SP
2018



unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



Pós-graduação
Botânica
Unesp - Botucatu

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"Júlio de Mesquita Filho"

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

Anatomia, densidade e condutividade hidráulica potencial do xilema secundário de árvores de três procedências de *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae) em plantios homogêneos

JANE RODRIGUES DA SILVA

PROF^a. DR^a. CARMEN REGINA MARCATI
ORIENTADORA

DR. EDUARDO LUIZ LONGUI
COORIENTADOR

Tese apresentada ao Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Área de concentração Morfologia e Diversidade Vegetal.

Botucatu - SP
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Silva, Jane Rodrigues da.

Anatomia, densidade e condutividade hidráulica potencial do xilema secundário de árvores de três procedências de *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae) em plantios homogêneos / Jane Rodrigues da Silva. - Botucatu, 2018

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu
Orientador: Carmen Regina Marcati
Coorientador: Eduardo Luiz Longui
Capes: 20302037

1. Anatomia vegetal. 2. Xilema. 3. Ensaios de procedência.
4. Predisposição Genética para Doença. 5. Polifenismo.

Palavras-chave: anatomia vegetal ; plasticidade fenotípica;
predisposição genética; testes de procedência; xilema secundário.

Aos meus pais, Cleuraci Rodrigues da Silva e Domingos Barbosa da Silva (in memoriam). Foram eles quem me ensinaram que o conhecimento é a nossa maior riqueza.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro (Auxílio à Pesquisa - Proc. 15/14954-1, Coordenadora Profa. Dra. Carmen Regina Marcati).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica) do Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP). À Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu (FCA) pela infraestrutura que tornou possível o desenvolvimento deste trabalho.

À Profa. Dra. Carmen Regina Marcati pela oportunidade, orientação, apoio e pelos ensinamentos científicos. *Carmen, agradeço imensamente pela paciência em esperar o meu retorno após a minha licença média. Saiba que este “voto de confiança” foi muito importante para eu continuar meu trabalho. Muito obrigada de coração!*

Ao Dr. Eduardo Luiz Longui pela ajuda no delineamento do projeto de doutorado e nas coletas. Aos responsáveis pelas Unidades Experimentais do Instituto Florestal onde realizei as coletas: Antonio Carlos Scatena Zanatto (Unidade de Luís Antônio) e José Arimatéia (Unidade de Pederneiras). Agradeço também aos funcionários de cada Unidade pela atenção, receptividade e apoio durante as coletas.

Ao Dr. Augusto Ribas pela ajuda nas análises estatísticas, interpretação nos resultados.

À Profa. Dra. Sílvia Rodrigues Machado pela ajuda nas análises e ensinamentos em microscopia eletrônica. Aos servidores do Centro de Microscopia Eletrônica de Botucatu, do Instituto de Química, Unesp de Araraquara e do Laboratório de Microscopia Eletrônica da Esalq pela ajuda durante a realização das análises em microscopia eletrônica.

À Liliane Catarina Pereira pelos ensinamentos compartilhados no laboratório e pela companhia durante os intervalos do “lanche”.

Aos membros da Banca de Qualificação, Profas. Dra. Carmen, Fernandes Boaro, Dra. Camila Kissmann e Dra. Silvia Rodrigues Machado pelas contribuições durante a minha qualificação.

Aos meus colegas de laboratório Fabio Bosio, Ana Tereza Durão, José Matheus Santos, Larissa C. Dória, Natalia T. O. de Lara, Paula C. B. Vergílio, Marcela Blagitz, Thais Oya, Mariana e Lívia Hirota pela companhia, trocas de ideias, aprendizados e momentos de descontração com muito café.

À todos os meus amigos que durante este quarto anos me apoiaram e compartilharam minhas alegrias e tristezas. *Obrigada, vocês são muito importantes para mim!*

À família Mendes Kulczynski por todo apoio e ajuda durante os momentos mais difíceis destes quatro anos. Ao meu namorado Leonardo Kulczynski pelo companheirismo, compreensão e paciência (muita paciência!).

À minha mãe, Cleuraci Rodrigues e meus irmãos, Gilson Rodrigues e Janir Rodrigues pelo incentivo aos meus estudos, “puxões de orelha” e pelo apoio inquestionável nas minhas decisões.

Muito obrigada,

Jane Rodrigues da Silva

Sumário

RESUMO	08
ABSTRACT	10
Introdução Geral	12
Revisão de Literatura	16
1. Anatomia ecológica do xilema secundário	16
2. Variação intraespecífica do xilema secundário entre procedências	19
3. Espécie de estudo.....	22
Referências	24
Capítulo 1. Efeitos da procedência e da variabilidade ambiental nas características do xilema secundário e no crescimento de árvores de <i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl. (Rutaceae)	34
Resumo	34
Introdução	35
Material e Métodos	37
Resultados	46
Discussão	59
Conclusão	67
Referências	67
Considerações finais	77

1 **da Silva, J.R.** Anatomia, densidade e condutividade hidráulica potencial do xilema
2 secundário de árvores de três procedências de *Balfourodendron riedelianum* (Engl.)
3 Engl. (Rutaceae) em plantios homogêneos. 2018. TESE DE DOUTORADO –
4 INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL
5 PAULISTA, CÂMPUS DE BOTUCATU.

6 **RESUMO** – Estudos intraespecíficos com procedências replicadas em diferentes locais
7 permitem distinguir o efeito do genótipo e do ambiente no crescimento e na estrutura
8 anatômica das plantas. Diante das previsões de intensificação dos períodos seca e o
9 aumento da temperatura em todo o mundo, entender como a predisposição genética e o
10 ambiente influenciam o crescimento das plantas e as características do xilema
11 secundário é importante para estabelecer futuros padrões na distribuição de espécies
12 arbóreas. Assim, neste trabalho, avaliamos o efeito da procedência e das condições
13 ambientais na variabilidade intraespecífica do crescimento das árvores e da estrutura
14 anatômica do xilema secundário de *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.
15 (Rutaceae). Comparamos o crescimento (estimado por meio da altura e do diâmetro do
16 caule), a densidade da madeira, a condutividade hidráulica potencial e as características
17 anatômicas do xilema secundário de árvores adultas de três procedências de *B.*
18 *riedelianum* crescidas em dois plantios homogêneos como testes de procedências.
19 Seleccionamos 72 árvores de 30 anos de idade de *B. riedelianum* crescidas em um
20 plantio homogêneo localizado na Estação Experimental de Luís Antônio e outro na
21 Estação Experimental de Pederneiras, ambos no estado de São Paulo. O solo do plantio
22 de Luís Antônio é argiloso e neste local há maior precipitação anual do que no plantio
23 de Pederneiras, onde o solo é arenoso. As procedências vêm de sementes coletadas em
24 populações naturais localizadas no município de Alvorada do Sul, estado do Paraná, e
25 Bauru e Gália, estado de São Paulo. Em Alvorada do Sul e Gália, as sementes foram
26 coletadas em área de Floresta Estacional Semidecídua, e em Bauru foram coletadas em
27 área de ecótono entre Cerrado e Floresta Estacional Semidecídua. Nas regiões de
28 Alvorada do Sul e Gália há maior precipitação anual do que na região de Bauru. Para o
29 estudo anatômico do xilema secundário, processamos o material de acordo com as
30 técnicas usuais em anatomia do xilema secundário. Para cada indivíduo amostrado
31 calculamos a condutividade hidráulica potencial e mensuramos a densidade da madeira
32 e 21 características anatômicas do xilema secundário. Para testar o efeito da
33 procedência, dos fatores ambientais, da interação entre procedência e o ambiente e a

34 altura das árvores nas características do xilema secundário realizamos análise de
35 variância multivariada permutacional (PERMANOVA). Para verificar as diferenças no
36 crescimento das árvores e nas características do xilema secundário entre as procedências
37 e entre os plantios realizamos uma análise de variância (ANOVA) de dois fatores.
38 Identificamos que as variações nas características do xilema secundário de *B.*
39 *riedelianum* são determinadas pela procedência, com efeito das condições ambientais
40 dos plantios, e pela interação das procedências com as condições ambientais dos
41 plantios. Encontramos vasos mais estreitos e com paredes celulares finas, mais
42 agrupados e em maior densidade, com pontoações intervasculares menores e aberturas
43 estreitas, raios mais baixos e numerosos e menor condutividade hidráulica potencial,
44 características que indicam maior segurança no transporte de água nas árvores oriundas
45 de Bauru, local com maior restrição hídrica, quando comparamos aos indivíduos
46 oriundos de Gália, local com maior disponibilidade hídrica. Entretanto, para a
47 procedência de Alvorada do Sul, apesar de ser local com condições ambientais mésicas,
48 as árvores apresentaram xilema secundário com características que indicam maior
49 segurança no transporte de água. Estes resultados demonstram que as procedências de
50 Bauru e Gália mantiveram algumas características anatômicas do xilema secundário
51 relacionadas ao seu local de origem, independente de seu local de crescimento. As
52 condições ambientais dos plantios tiveram efeito no crescimento das plantas e nas
53 características do xilema secundário. Encontramos árvores mais altas e com caules mais
54 largos e o xilema secundário com características de maior eficiência no transporte de
55 água, com maior condutividade hidráulica potencial, vasos mais largos, elementos de
56 vaso longos, pontoações intervasculares maiores e com abertura largas e raios menos
57 numerosos no plantio de Luís Antônio, local com maior disponibilidade de água. Isto
58 indica que o crescimento das árvores e as características do xilema secundário de *B.*
59 *riedelianum* também apresentam plasticidade às novas condições ambientais de
60 crescimento.

61 **Palavras-chave:** genótipo, mudanças climáticas, plasticidade fenotípica, predisposição
62 genética, teste de procedência.

63 **da Silva, J.R.** Anatomy, density and potential hydraulic conductivity of the secondary
64 xylem of trees from three provenances of *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.
65 (Rutaceae) in homogeneous plantations. 2018. TESE DE DOUTORADO –
66 INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL
67 PAULISTA, CÂMPUS DE BOTUCATU.

68 **ABSTRACT** - Intraspecific studies with provenances replicated at different sites allow
69 to distinguish the effect of genotype and environment on the growth and anatomical
70 structure of plants. Considering predictions of drought intensification and increased
71 temperature in wordwilde, understanding how genetic predisposition and environment
72 influence plant growth and secondary xylem features is important to establishing future
73 patterns in the distribution of tree species. Thus, in this work, we evaluated the effect of
74 the provenance and environmental conditions on the intraspecific variability of tree
75 growth and the anatomical structure of the secondary xylem of *Balfourodendron*
76 *riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae). We compared growth (estimated from stem
77 height and diameter), wood density, potential hydraulic conductivity, and anatomical
78 features of the secondary xylem of adult trees of three provenances of *B. riedelianum*
79 from two homogeneous plantations as provenances tests. We selected 72 trees of 30
80 years old of *B. riedelianum* grown in a homogeneous plantation located in the
81 Experimental Station of *Luís Antônio* and another in the Experimental Station of
82 *Pederneiras*, in the state of São Paulo. The plantations of *Luís Antônio* have clay soil
83 and highest annual precipitation than the plantations of *Pederneiras*, where the soil is
84 sandy. The provenances came from seeds collected in natural populations located in the
85 city of *Alvorada do Sul*, state of Paraná, and from *Bauru* and *Gália*, state of São Paulo.
86 In *Alvorada do Sul* and *Gália*, the seeds were collected in a Semideciduous Seasonal
87 Forest, and in *Bauru* were collected in an ecotone between Cerrado and Semideciduous
88 Seasonal Forest. In the regions of *Alvorada do Sul* and *Gália* there is higher annual
89 precipitation than in the region of Bauru. For the anatomical study of the secondary
90 xylem, we process the material according to the usual techniques in wood anatomy. For
91 each individual sample we calculated the potential hydraulic conductivity and measured
92 the wood density and 21 anatomical features of the secondary xylem. To test the effect
93 of provenance, environmental factors, interaction between provenance and
94 environmental, and tree height in the secondary xylem features, we performed
95 permutational multivariate analyses of variance (PERMANOVA). To verify the
96 differences between the growth and traits of the secondary xylem between the

97 provenances and the environmental conditions, we performed a two-way ANOVA. We
98 identified that the variations in the features of the secondary xylem of *B. riedelianum*
99 are determined by the provenance, with effect of the environmental conditions of the
100 plantations, and by the interaction of the provenances with the environmental
101 conditions. We found narrower vessels with thinner cell walls, more grouped vessels
102 and higher density, with smaller intervessel pits and narrow aperture, lower and
103 numerous rays and lower potential hydraulic conductivity, features that indicate safety
104 of water transport in the trees from *Bauru*, site with lower water availability, when
105 compared to individuals from *Gália*, site with higher water availability. However, for
106 provenance of *Alvorada do Sul*, despite being local with mesic environments, trees have
107 secondary xylem with features that indicate safety of water transport. These results
108 demonstrate that the provenances of *Bauru* and *Gália* maintained some anatomical
109 features of the secondary xylem related to their site of origin, independent of their
110 growth site. The environmental conditions of the plantations had an effect on the plants
111 growth and secondary xylem features. We found taller trees with larger stems and
112 secondary xylem with characteristics of higher efficiency in water transport, with higher
113 potential hydraulic conductivity, larger vessels, longer vessel elements, larger
114 intervessel pits with larger aperture and less number of rays in the *Luís Antônio*
115 plantations, site with higher water availability. This indicates that the growth and
116 secondary xylem features of *B. riedelianum* also present plasticity to the new
117 environmental conditions of growth.

118 **Key-words:** genotype, climatic changes, phenotypic plasticity, genetic predisposition,
119 provenance test.

1 **Introdução Geral**

2 Há décadas se estuda o efeito da variabilidade ambiental na estrutura anatômica
3 do xilema secundário (ver Carlquist & Hoekman, 1985; Barajas-Morales, 1987; Alves
4 & Angyalossy-Alfonso, 2000; 2002; Wheeler, Baas & Rodgers, 2007; Sonsin et al.,
5 2012; Dória et al., 2016; Blagitz, 2017). Estes estudos permitiram estabelecer
6 tendências ecológicas e tem ampliado o entendimento da variabilidade ambiental como
7 modificador da estrutura anatômica do xilema secundário. Entretanto, além das
8 condições ambientais, as características anatômicas do xilema secundário são
9 influenciadas por fatores genéticos (Baas et al., 1983; Metcalfe & Chalk, 1983). A
10 variabilidade ambiental combinada com a seleção natural pode resultar em ecótipos
11 múltiplos e geneticamente distintos dentro de espécies com ampla distribuição
12 geográfica (Hufford & Mazer, 2003). Portanto, variações nas características anatômicas
13 do xilema secundário observadas entre populações de uma mesma espécie podem ser
14 resultantes da diferenciação de ecótipos ou devido à plasticidade fenotípica (Choat,
15 Sack & Holbrook, 2007), tornando um desafio determinar quais características
16 anatômicas são determinadas pelo genótipo e/ou induzidas pelo ambiente (Metcalfe &
17 Chalk, 1983).

18 O método clássico utilizado para determinar se as variações observadas em
19 diferentes populações são ocasionadas pela predisposição genética ou pelos efeitos da
20 variabilidade ambiental são os experimentos de jardim comum (Matyas, 1996; Hufford
21 & Mazer, 2003; López et al., 2013; Schreiber, Hacke & Hamann, 2015). Os
22 experimentos de jardim comum com espécies arbóreas são identificados como testes de
23 procedências na literatura da área florestal (Zobel & Jett, 1995). Os testes de
24 procedência são realizados com indivíduos de diferentes populações de uma
25 determinada espécie crescidos em ambiente comum, que podem ou não ser replicados
26 em diferentes locais com variação na precipitação e tipo de solo (Matyas, 1996). Estes
27 testes permitem desacoplar os efeitos do genótipo e do ambiente no crescimento e nas
28 características anatômicas e morfológicas das plantas e, portanto, representam
29 importantes ferramentas para testar hipóteses relacionadas a adaptações das árvores às
30 mudanças climáticas (Matyas, 1996).

31 As alterações previstas nos padrões de precipitação, com a intensificação dos
32 períodos de seca, aumento da temperatura e déficit de pressão de vapor para as
33 próximas décadas (IPCC, 2014) terão consequências diretas na disponibilidade de água
34 para as plantas. Restrições na disponibilidade hídrica torna o sistema vascular das

35 plantas mais propensas a embolismos e falhas no transporte de água, com impacto direto
36 na diminuição da produtividade e no aumento da mortalidade induzida pela seca em
37 diversas formações florestais (Choat et al., 2012; Eilmann et al., 2014). As respostas de
38 espécies arbóreas às variações na disponibilidade hídrica envolvem desde o controle na
39 abertura e fechamento estomático, mudanças na arquitetura radicular e ajustes
40 anatômicos do xilema secundário (Fisher et al., 2007; Plavcová & Hacke, 2012; López
41 et al., 2013; Schreiber, Hacke & Hamann, 2015). A formação de um sistema vascular
42 capaz de transportar água suficiente para manter a taxa transpiratória foliar,
43 minimizando os riscos de perda de condutividade hidráulica, é uma medida-chave da
44 "adequação" das espécies diante das futuras mudanças climáticas (Pfausch et al., 2016).

45 Diferenças na precipitação (Leal et al., 2003; Plavcová & Hacke, 2012; López et
46 al., 2013; Eilmann et al., 2014; Schreiber, Hacke & Hamann, 2015), temperatura
47 (Schreiber, Hacke & Hamann, 2015), tipo de solo (Hacke et al., 2000) e altitude (Fisher
48 et al., 2007) são fatores seletivos para a variabilidade anatômica do xilema secundário,
49 pois interferem na disponibilidade de água para as plantas. Geralmente, em condições
50 de menor disponibilidade de água, as plantas possuem um conjunto de características
51 anatômicas que conferem maior resistência no transporte de água, diminuindo os riscos
52 de falhas hidráulicas causadas por embolismos induzidos pela seca (Hacke et al., 2006).
53 Por exemplo, vasos estreitos, em maior densidade e mais agrupados (Baas & Carlquist,
54 1985; Barajas-Morales, 1985; Carlquist & Hoekman, 1985; Lindorf, 1994; Bosio,
55 Soffiatti & Boeger, 2010) são características que aumentam a possibilidade de caminhos
56 para o fluxo de água em torno de vasos embolisados (Tyree, Davis & Cochard, 1994),
57 proporcionando maior segurança no transporte de água (Tyree & Zimmermann, 2002).
58 Contudo, o estreitamento dos vasos diminui acentuadamente o potencial no transporte
59 de água do xilema secundário (Sperry, Hacke & Pittermann, 2006), pois de acordo com
60 a equação de Hagen–Poiseuille, a condutividade no lúmen dos vasos aumenta a quarta
61 potência do seu diâmetro (Zimmermann, 1983; Tyree & Zimmermann, 2002). Além
62 disso, vasos com paredes mais espessas imersos em uma matriz densa de fibras também
63 podem aumentar a segurança no transporte de água, minimizando os riscos de implosão
64 da parede dos vasos devido a alta tensão negativa no fluxo hídrico (Hacke & Sperry,
65 2001). A maior interação entre as células parenquimáticas (parênquima axial e raios) e
66 os vasos pode funcionar como mecanismo acessório para maior segurança no transporte
67 de água, aumentando a capacidade de armazenamento de água no caule (Borchert &
68 Pockman, 2005) e a recarga de água nos vasos embolisados (Salleo et al., 2004).

69 Variações nas características anatômicas do xilema secundário também pode ter
70 efeito na densidade da madeira (Hacke et al., 2001). Em Angiospermas, a densidade da
71 madeira é um parâmetro dependente da área ocupada pelas diferentes células do xilema
72 secundário (vasos, fibras e parênquimas), da espessura da parede das fibras e espessura
73 da parede, densidade e diâmetro dos vasos (Hacke & Sperry, 2001; Hacke et al., 2001;
74 Chave et al., 2009). Maior densidade da madeira está relacionada à maior área ocupada
75 por fibras de paredes espessas e numerosos vasos estreitos também com paredes
76 espessas (Fritts, 1976). Vasos numerosos e estreitos são mais seguros, porém diminuem
77 o potencial de transporte de água do xilema secundário (Sperry et al., 2006) e fibras de
78 paredes espessas aumentam a capacidade de suporte nas plantas (Hacke et al., 2001).
79 Assim, a densidade da madeira pode ser associada negativamente à capacidade de
80 transporte de água e positivamente à capacidade de suporte mecânico do xilema
81 secundário (Chave et al., 2009; Poorter et al., 2010). Além disso, a densidade da
82 madeira pode ser relacionada negativamente ao crescimento das plantas, pois a
83 formação de fibras e vasos com paredes espessadas requerem maior quantidade de
84 fotoassimilados, diminuindo o crescimento em volume das árvores (Poorter et al.,
85 2010). Portanto, a densidade da madeira é um parâmetro que pode ser utilizado em
86 estudos do xilema secundário para inferir a capacidade de transporte de água, suporte
87 mecânico e o crescimento das plantas.

88 No entanto, apesar do amplo conhecimento sobre as variações nas características
89 do xilema secundário em diferentes ambientes, muito do nosso conhecimento atual
90 sobre a variabilidade e interação das características do xilema secundário são
91 provenientes de comparações interespecíficas (Lens et al., 2004; Choat, Sack &
92 Holbrook, 2007; Pfautsch et al., 2016). Estudos intraespecíficos com procedências
93 replicadas em diferentes ambientes ampliam o conhecimento sobre a influencia da
94 predisposição genética e dos fatores ambientais na anatomia do xilema secundário de
95 espécies arbóreas (Schreiber, Hacke & Hamann, 2015). Este conhecimento pode ser
96 utilizado para prever os possíveis impactos das mudanças climáticas na distribuição de
97 espécies arbóreas (Anderegg, 2015). No estado de São Paulo, há diversos plantios de
98 espécies nativas em Estações Experimentais do Instituto Florestal (Gurgel-Garrido et
99 al., 1997) que permitem o desenvolvimento destes estudos. Estes plantios foram
100 instalados em 1978, com a finalidade de conservação *ex situ* de 24 espécies nativas que
101 tiveram redução em suas populações originais devido à intensa extração de madeira para
102 uso comercial (Gurgel-Garrido et al., 1997). Dentre estas espécies está *Balfourodendron*

103 *riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae), conhecido popularmente como pau-marfim, que é
104 característica de Floresta Estacional Semidecídua (Lorenzi, 1992; Spichiger, Calenge &
105 Bise, 2004). Assim, com o apoio desse instituto, realizamos este trabalho com o
106 objetivo de investigar o efeito do local de origem das procedências e das condições
107 ambientais na variabilidade intraespecífica do crescimento das árvores, densidade da
108 madeira, condutividade hidráulica potencial e estrutura anatômica do xilema secundário
109 de *B. riedelianum*.

250 melhoramento genético, estabelecer áreas para a implantação de pomares de sementes,
 251 bancos clonais, testes de procedências e outras atividades inerentes ao melhoramento de
 252 espécies florestais de interesse econômico (Gurgel-Garrido et al., 1997). Para o
 253 Programa de Melhoramento Genético Florestal de espécies nativas, denominado
 254 “essências nativas”, foram selecionadas 24 espécies consideradas prioritárias devido à
 255 redução populacional em ambiente nativo e conseqüentemente, o estreitamento da base
 256 genética destas espécies (Gurgel-Garrido et al., 1997). Além dos objetivos já
 257 apresentados, os testes de procedências com espécies nativas têm sido utilizados para a
 258 avaliação da procedência na qualidade da madeira (Lima et al., 2014; Longui et al.
 259 2017) e na estrutura anatômica do xilema secundário (Longui et al., 2010; Caum, 2013).

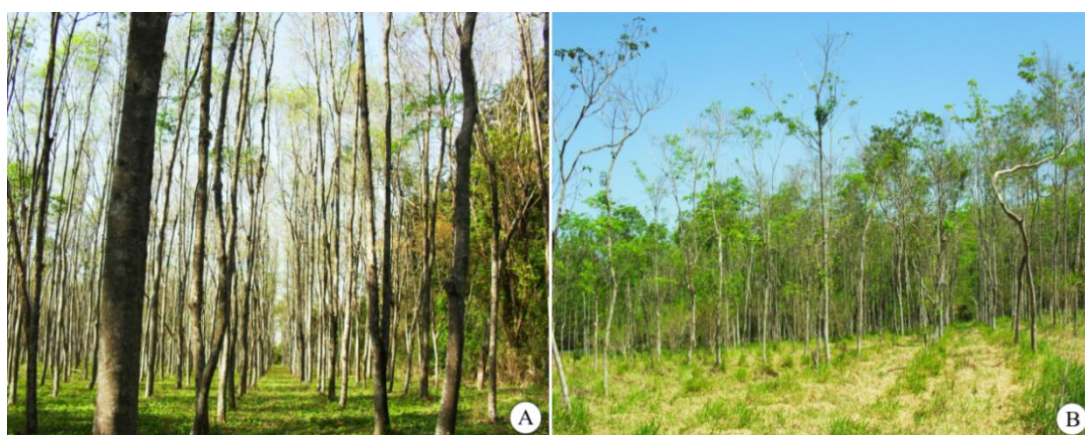


Fig. 2. Plantios homogêneos de *Balfourodendron riedelianum*. A. Estação Experimental de Luís Antônio e B. Estação Experimental de Pederneiras.

260 Referências

- 261 Alberto, F.J., Aitken, S.N., Alía, R. González-Martínez, S.C., Hänninen H., Kremer, A.
 262 et al. (2013) Potential for evolutionary responses to climate change - evidence
 263 from tree populations. *Global Change Biology* **19**, 1645–1661. doi:
 264 <http://10.0.4.87/gcb.12181>
- 265 Alves, E.S. & Angyalossy-Alfonso, V. (2000) Ecological trends in the wood anatomy of
 266 some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. *IAWA journal* **21**, 3–30. doi:
 267 [10.1078/0367-2530-0058](https://doi.org/10.1078/0367-2530-0058)
- 268 Alves, E.S. & Angyalossy-Alfonso, V. (2002) Ecological trends in the wood anatomy of
 269 some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *IAWA Journal* **23**,
 270 391–418. doi: [10.1163/22941932-90000311](https://doi.org/10.1163/22941932-90000311)
- 271 Anderegg, W.R.L. (2015) Spatial and temporal variation in plant hydraulic traits and
 272 their relevance for climate change impacts on vegetation. *New Phytologist* **205**,
 273 1008–1014. doi: [10.1111/nph.12907](https://doi.org/10.1111/nph.12907)

- 274 Baas, P. & Carlquist, S. (1985) A comparison of the ecological wood anatomy of the
275 floras of Southern California and Israel. *IAWA Bulletin* **6**, 349–353. doi:
276 10.1163/22941932-90000961
- 277 Baas, P., Ewers, F.W., Davis, S.D., & Wheeler, E. (2004) Evolution of xylem
278 physiology. In A. R. Hemley & I. Poole (Eds.). *The evolution of plant physiology*.
279 Elsevier Academic Press., Amsterdam.
- 280 Baas, P., Werker, E. & Fahn, A. (1983) Some ecological trends in vessel characters.
281 *IAWA Bulletin* n.s. **4**, 141–159. doi: 10.1163/22941932-90000407
- 282 Barajas-Morales, J. (1985) Wood structural differences between trees of two Tropical
283 Forests in Mexico. *IAWA Journal* **6**, 355–364. doi: 10.1163/22941932-90000962
- 284 Barajas-Morales, J. (1987) Wood specific gravity in species from tropical Forests in
285 Mexico. *IAWA Bulletin* **8**, 143–148. doi: 10.1163/22941932-90001041
- 286 Bissing, D.R. (1982) Variation in qualitative anatomical features of the xylem of
287 selected dicotyledonous woods in relation to water availability. *Bulletin of the*
288 *Torrey Botanical Club* **5**, 371–384. doi: 10.2307/2995983
- 289 Blagitz, M. (2017) Anatomia caulinar de *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. (Rutaceae) e
290 *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho (Asteraceae) que ocorrem em
291 Cerrado e Mata Atlântica. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
292 Filho.”
- 293 Borchert, R. & Pockman, W.T. (2005) Water storage capacitance and xylem tension in
294 isolated branches of temperate and tropical trees. *Tree Physiology* **25**, 457–466.
295 doi: 10.1093/treephys/25.4.457
- 296 Bosio, F., Soffiatti, P., & Boeger, M. R. T. (2010) Ecological wood anatomy of *Miconia*
297 *sellowiana* (Melastomataceae) in three vegetation types of Paraná state, Brazil.
298 *IAWA Journal* **31**, 179–190. doi: 10.1163/22941932-90000015
- 299 Carlquist, S. (1977) Ecological factors in wood evolution: a floristic approach.
300 *American Journal of Botany* **64**, 887–895.
- 301 Carlquist, S. (2001) *Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and*
302 *evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Springer-Verlag.
- 303 Carlquist, S. (2012) How wood evolves: a new synthesis. *Botany* **90**, 901–940. doi:
304 10.1139/b2012-048
- 305 Carlquist, S. (2015) Living cells in wood. 1. Absence , scarcity and histology of axial
306 parenchyma as keys to function. *Botanical Journal of the Linnean Society* **177**,
307 291–321. doi: 10.1111/boj.12247

- 308 Carlquist, S. & Hoekman D.A. (1985) Ecological wood anatomy of the woody-Southern
309 Californian flora. *IAWA Bulletin* 6, 319–347. doi: 10.1163/22941932-90000960
- 310 Carvalho, P. (2003) *Espécies arbóreas brasileiras*. Colombo: Embrapa Floresta.
- 311 Caum, C. 2013. Anatomia comparada da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb.
312 ex Steud. (Boraginaceae) provenientes de sementes de duas procedências e
313 análises de anéis de crescimento. Universidade Estadual Paulista “Júlio de
314 Mesquita Filho.”
- 315 Chave, J., Coomes, D., Jansen, S. Lewis, S.L., Swenson, N.G. & Zanne, A.E. (2009)
316 Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12, 351–366.
317 doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x
- 318 Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R. et al. (2012)
319 Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* 491, 752–5.
320 doi: 10.1038/nature11688
- 321 Choat, B., Sack, L. & Holbrook, N.M. (2007) Diversity of hydraulic traits in nine
322 *Cordia* species growing in tropical forests with contrasting precipitation. *New*
323 *Phytologist* 175, 686–698. doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02137.x
- 324 Corcuera, L., Cochard, H., Gil-Pelegrin, E. & Notivol, E. (2011) Phenotypic plasticity in
325 mesic populations of *Pinus pinaster* improves resistance to xylem embolism (P₅₀)
326 under severe drought. *Trees - Structure and Function* 25, 1033–1042. doi:
327 10.1007/s00468-011-0578-2
- 328 Dória, L.C., Podadera, D.S., Batalha, M.A., Lima, R.S. & Marcati, C.R. (2016) Do
329 woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the
330 Cerrado? *Flora* 224, 244–251. doi: 10.1016/j.flora.2016.09.002
- 331 Eilmann, B., Sterck, F., Wegner, L., de Vries, S.M.G., Von Arx, G., Mohren, G.M.J.,
332 den Ouden, J. & Sass-Klaassen, U. (2014) Wood structural differences between
333 northern and southern beech provenances growing at a moderate site. *Tree*
334 *Physiology* 34, 882–893. doi: 10.1093/treephys/tpu069
- 335 Eilmann, B., de Vries, S.M.G., den Ouden, J., Mohren, G.M.J. & Sauren, P. (2013)
336 Origin matters! Difference in drought tolerance and productivity of coastal
337 Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) provenances. *Forest Ecology and*
338 *Management* 302, 133–143. doi: 10.1016/j.foreco.2013.03.031
- 339 Fisher, J.B., Goldstein, G., Jones T.J. & Cordell, S. (2007) Wood vessel diameter is
340 related to elevation and genotype in the Hawaiian tree *Metrosideros polymorpha*
341 (Myrtaceae). *American Journal of Botany* 94:709–715. doi: 10.3732/ajb.94.5.709

- 342 Fritts, H.C. (1976) *Tree rings and climate*. Acad. Press, New York.
- 343 Gurgel-Garrido, L.M.A., Siqueira, A.C.M.F., Cruz, S.F., Romanelli, R.C., Etori, L.C.,
344 Crestana, C.S.M. et al. (1997) Programa de melhoramento genético florestal. *IF*
345 *Série de Registros* **18**, 1–53.
- 346 Hacke, U.G. & Sperry J.S. (2001) Functional and ecological xylem anatomy.
347 *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **4**, 97–115. doi:
348 10.1078/1433-8319-00017
- 349 Hacke, U.G., Sperry, J.S., Ewers, B.E., Ellsworth, D.S., Schäfer, K.V.R. & Oren, R.
350 (2000) Influence of soil porosity on water use in *Pinus taeda*. *Oecologia* **124**,
351 495–505. doi: 10.1007/PL00008875
- 352 Hacke, U.G., Sperry, J.S., Pockman, W.T., Davis, S.D. & McCulloh, K.A. (2001)
353 Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion
354 by negative pressure. *Oecologia* **126**, 457–461. doi: 10.1007/s004420100628
- 355 Hacke, U.G., Sperry, J.S., Wheeler, J.K. & Castro L (2006) Scaling of angiosperm
356 xylem structure with safety and efficiency. *Tree physiology* **26**, 689–701. doi:
357 10.1093/treephys/26.6.689
- 358 Hufford, K.M. & Mazer, S.J. (2003) Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of
359 ecological restoration. *Trends in Ecology and Evolution* **18**, 147–155. doi:
360 10.1016/S0169-5347(03)00002-8
- 361 IPCC (2014) Climate Change: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global
362 and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment
363 report of the intergovernmental panel on climate change, In Field, C.B., V.R.
364 Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee,
365 K.L. et al. (Eds.), Cambridge, p. 1132.
- 366 Jacobsen, A.L., Pratt, R.B., Ewers F.W. & Davis, S.D (2007) Cavitation resistance
367 among 26 chaparral species of southern California. *Ecological Monographs* **77**,
368 99–115. doi: 10.1890/05-1879
- 369 James, S.A., Meinzer, F.C., Goldstein, G., Woodruff, D., Jones, T., Restom, T. et al.
370 (2003) Axial and radial water transport and internal water storage in tropical
371 forest canopy trees. *Oecologia* **134**, 37–45. doi: 10.1007/s00442-002-1080-8
- 372 Kageyama, P.Y. (1987) Conservação in situ de recursos genéticos de plantas. *IPEF*,
373 *Piracicaba* 35:7–37.
- 374 Langlet, O. (1971) Two hundred years genecology. *Taxon* **20**, 653–722. doi:
375 10.2307/1218596

- 376 Leal, S., Wimmer, R., Pereira H. & Grabner, M. (2003) Clonal and site variation of
377 vessels in 7-year-old *Eucalyptus globulus*. *IAWA Journal* **24**, 185–195. doi:
378 10.1163/22941932-90000331
- 379 Lens, F., Luteyn, J.L., Smets, E. & Jansen, S. (2004) Ecological trends in the wood
380 anatomy of Vaccinioideae (Ericaceae s.l.). *Flora* **199**, 309–319. doi: 0.1078/0367-
381 2530-0058
- 382 Lima, R.S., de Oliveira, P.L. & Rodrigues, L.R. (2009) Anatomia do lenho de
383 *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae)
384 ocorrente em dois ambientes. *Revista Brasileira de Botânica* **32**, 361–374. doi:
385 10.1590/S0100-84042009000200015
- 386 Lima, I.L., Longui, E.L., Freitas, M.L.M., Zanatto, A.C.S., Zanata, M., Florsheim,
387 S.M>B. & Bortoletto Jr., G. (2014) Physical-mechanical and anatomical
388 characterization in 26-year-old *Eucalyptus resinifera* Wood. *Floresta e Ambiente*
389 **21**, 91-98. doi: 10.4322/floram.2014.006
- 390 Lindorf, H. (1994) Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical
391 forest. *IAWA Journal* **15**, 361–376. doi: 10.1163/22941932-90001370
- 392 Longui, E.L., de Lima, I.L., Andrade, I.M., Freitas, M.L., Florsheim, S.M.B., Zanatto,
393 A.C.S. & da Silva, F.G. (2011) Seed provenance influences the wood structure of
394 *Gallesia integrifolia*. *IAWA Journal* **32**, 361–374. doi: 10.1163/22941932-
395 90000064
- 396 Longui, E.L., Pires, G.P.T., Ballarin, A.W. & Machado, A.R. (2017) Shear strength
397 parallel to grain with distinct ray orientation on four Brazilian wood species.
398 *European Journal of Wood and Wood Products* **75**, 663–665. doi:
399 10.1007/s00107-016-1129-8
- 400 López, R., de Heredia, U. L., Collada, C., Cano, F.J., Emerson, B.C., Cochard, H. & Gil,
401 L. (2013) Vulnerability to cavitation, hydraulic efficiency, growth and survival in
402 an insular pine (*Pinus canariensis*). *Annals of Botany* **111**, 1167–1179. doi:
403 10.1093/aob/mct084
- 404 Lorenzi, H. (1992) *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas*
405 *arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum.
- 406 Luchi, A.E. (2004) Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de
407 solos com diferentes níveis de umidade. *Revista Brasileira de Botânica* **27**, 271–
408 280. doi: 10.1590/S0100-84042004000200007

- 409 Luchi, A.E. (2011) Quantitative features of *Cedrela odorata* L. wood (Meliaceae).
410 *Revista Brasileira de Botânica* **34**, 403–410. doi: 10.1590/S0100-
411 84042011000300013
- 412 Luchi, A.E., Silva, L.C.P. & Moraes, M. (2005) Anatomia comparada do lenho de
413 *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e de plantação de *Pinus*
414 *elliottii* Engelm. *Revista Brasileira de Botânica* **28**, 809–820. doi: 10.1590/S0100-
415 84042005000400015
- 416 Marcati, C.R., Angyalossy-Alfonso, V. & Benetati, L.(2001) Anatomia comparada do
417 lenho de *Copaifera langsdorfii* Dedf. (Leguminosae-Caesalpinioideae) de floresta
418 e cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* **24**, 311–320. doi: 10.1590/S0100-
419 84042001000300010
- 420 Maria, V.R.P. (2002) Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com
421 a atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de florestas estacionais
422 semidecíduais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
423 de São Paulo.
- 424 Mattheck, C. (1995) Biomechanical optimum in woody stems. In B.L. Gartner, (ed).
425 *Plant stems: physiology and functional morphology*. Academic Press, New York.
- 426 Matyas, C. (1996) Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests.
427 *Euphytica* **92**, 45–54.
- 428 Metcalfe, C. & Chalk, L. (1983) *Anatomy of the Dicotyledond. II. Wood structure and*
429 *conclusion of the general introduction*. 2a. Clarendon Press, Oxford.
- 430 Morris, H., Gillingham, M.A.F, Plavcová, L., Gleason, S.M., Olson, M.E., Coomes,
431 D.A et al. (2018) Vessel diameter is related to amount and spatial arrangement of
432 axial parenchyma in woody angiosperms. *Plant, Cell & Environment* **41**, 245–
433 260. doi: 10.1111/pce.13091
- 434 Morris, H., Plavcová, L., Cvecko, P., Fichtler, E., Gillingham, M., Martínez-Cabrera, H.
435 et al. (2016) A global analysis of parenchyma tissue fractions in secondary xylem
436 of seed plants. *New Phytologist* **209**, 1553–1565. doi: 10.1111/nph.13737
- 437 Nardini, A., Salleo, S.& Jansen, S. (2011) More than just a vulnerable pipeline: xylem
438 physiology in the light of ion-mediated regulation of plant water transport.
439 *Journal of Experimental Botany* **62**, 4701–4718. doi: 10.1093/jxb/err208
- 440 van den Oever, L., Baas, P. & Zandee, M. (1981) Comparative wood anatomy of
441 *Symplocos* and latitude and altitude of provenance. *IAWA Bulletin* **2**, 3–24.

- 442 den Outer, R.W. & van Veenendaal, W.L.H. (1976) Variation in wood anatomy of
443 species with a distribution covering both rain forest and savanna areas of the Ivory
444 Coast, west-Africa. In P. Baas, Bolton, A.J. & Catling, D. M. (eds). *Wood*
445 *structure in biological and technological research*. Leiden Bot. Leiden University
446 Press, Leiden. Pages 182–195
- 447 Pfautsch, S., Harbusch, M., Wesolowski, A., Smith, R., Macfarlane, C., Tjoelker, M.G.
448 et al. (2016) Climate determines vascular traits in the ecologically diverse genus
449 *Eucalyptus*. *Ecology Letters* **19**, 240–248. doi: 10.1111/ele.12559
- 450 Pirani, J.R. (1998) A revision of *Helietta* and *Balfourodendron* (Rutaceae-Pteleinae).
451 *Brittonia* **50**, 348–380.
- 452 Plavcová, L. & Hacke, U.G. (2012) Phenotypic and developmental plasticity of xylem
453 in hybrid poplar saplings subjected to experimental drought, nitrogen fertilization,
454 and shading. *Journal of Experimental Botany* **63**, 695–709. doi:
455 10.1093/jxb/err313
- 456 Plavcová, L., Jansen, S., Klepsch, M. & Hacke U. G. (2013) Nobody's perfect: can
457 irregularities in pit structure influence vulnerability to cavitation? *Frontiers in*
458 *plant science* **4**, 453. doi: 10.3389/fpls.2013.00453
- 459 Poorter, L., McDonald, I., Alarcón, A., Fichtler, E., Licona, J.C., Peña-Claros, M. et al.
460 (2010) The importance of wood traits and hydraulic conductance for the
461 performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. *New*
462 *Phytologist* **185**, 481–492. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.03092.x
- 463 Richter, H. & Dallwitz, M. (2000) *Commercial timbers: descriptions, illustrations,*
464 *identification, and information retrieval*. <http://delta-intkey.com>.
- 465 Salleo, S., Lo Gullo, M. A. Trifiló, P. & Nardini, A. (2004) New evidence for a role of
466 vessel-associated cells and phloem in the rapid xylem refilling of cavitated stems
467 of *Laurus nobilis* L. *Plant, Cell and Environment* **27**, 1065–1076. doi:
468 10.1111/j.1365-3040.2004.01211.x
- 469 Scholz, A., Stein, A. Choat, B. & Jansen, S. (2014) How drought and deciduousness
470 shape xylem plasticity in three Costa Rican woody plant species. *IAWA Journal*
471 **35**, 337–355. doi: 10.1163/22941932-00000070
- 472 Schreiber, S.G., Hacke, U.G. & Hamann, A. (2015) Variation of xylem vessel diameters
473 across a climate gradient: Insight from a reciprocal transplant experiment with a
474 widespread boreal tree. *Functional Ecology* **29**, 1392–1401. doi: 10.1111/1365-
475 2435.12455

- 476 Schreiber, S.G., Hacke, U.G., Hamann, A. & Thomas, B. R. (2011) Genetic variation of
477 hydraulic and wood anatomical traits in hybrid poplar and trembling aspen. *New*
478 *Phytologist* **190**, 150–160. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03594.x
- 479 Sonsin, J.O., Gasson, P.E., Barros, C.F. & Marcati, C.R. (2012) A comparison of the
480 wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado *s.s.* and adjacent
481 gallery forest). *Botanical Journal of the Linnean Society* **170**, 257–276. doi:
482 10.1111/j.1095-8339.2012.01282.x
- 483 Sperry, J. S., Hacke, U.G. & Pittermann, J. (2006) Size and function in conifer tracheids
484 and angiosperm vessels. *American Journal of Botany* **93**, 1490–1500. doi:
485 10.3732/ajb.93.10.1490
- 486 Spicer, R. (2014) Symplasmic networks in secondary vascular tissues: Parenchyma
487 distribution and activity supporting long-distance transport. *Journal of*
488 *Experimental Botany* **65**, 1829–1848. doi: 10.1093/jxb/ert459
- 489 Spicer, R. & Holbrook, N.M. (2007) Parenchyma cell respiration and survival in
490 secondary xylem: Does metabolic activity decline with cell age? *Plant, Cell and*
491 *Environment* **30**, 934–943. doi: 10.1111/j.1365-3040.2007.01677.x
- 492 Spichiger, R., Calenge, C. & Bise B. (2004) Geographical zonation in the Neotropics of
493 tree species characteristic of the Paraguay-Paraná Basin. *Journal of Biogeography*
494 **31**, 1489–1501. doi: 10.1111/j.1365-2699.2004.01071.x
- 495 Tyree, M.T., Davis, S.D. & Cochard, H. (1994) Biophysical perspectives of xylem
496 evolution: is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to
497 dysfunction? *IAWA Journal* **15**, 335–360. doi: 10.1163/22941932-90001369
- 498 Tyree, M. & Zimmermann, M. (2002) *Xylem structure and the ascent of sap*. New
499 York, NY, USA: Springer-Verlag.
- 500 Webber, I.E. (1936) The woods of sclerophyllous and desert shrubs of California.
501 *American Journal of Botany* **23**, 181–188.
- 502 Wheeler, E.A., Baas, P. & Rodgers, S. (2007). Variations in dicot wood anatomy: a
503 global analysis based on the insidewood database. *IAWA Journal* **28**, 229–258.
504 doi: 10.1163/22941932-90001638
- 505 Wheeler, J.K., Sperry, J.S. Hacke, U.G. & Hoang, N. (2005) Inter-vessel pitting and
506 cavitation in woody Rosaceae and other vessel led plants: a basis for a safety
507 versus efficiency trade-off in xylem transport. *Plant, Cell and Environment* **28**,
508 800–812. doi: 10.1111/j.1365-3040.2005.01330.x

- 509 Wortemann, R., Herbette, S., Barigah, T.S., Fumanal, B., Alia, R., Ducousso, A.,
510 Gomory, D. et al. (2011) Genotypic variability and phenotypic plasticity of
511 cavitation resistance in *Fagus sylvatica* L. across Europe. *Tree Physiology* **31**,
512 1175–1182. doi: 10.1093/treephys/
513 Zimmermann, M. (1983) *Xylem structure and the ascent of sap*. Springer-Verlag.,
514 Berlin, Germany, New York, USA.
515 Zobel, B.J. & Jett, J.B. (1995) *Genetics of wood production*. Springer, Berlin.