



CAROLINA ALVES RIBEIRO

**EFEITOS DE TÉCNICAS AGRONÔMICAS NO XILEMA
SECUNDÁRIO DE *COFFEA ARABICA* L. (RUBIACEAE) EM
REFERÊNCIA A EFICIÊNCIA HÍDRICA**

LAVRAS – MG

2023

CAROLINA ALVES RIBEIRO

**“EFEITOS DE TÉCNICAS AGRONÔMICAS NO XILEMA SECUNDÁRIO DE
COFFEA ARABICA L. (RUBIACEAE) EM REFERÊNCIA A EFICIÊNCIA
HÍDRICA”**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Akira Mori
Orientador

Me. Ray Rodrigues de Souza
Coorientador

LAVRAS – MG

2023

CAROLINA ALVES RIBEIRO

**“EFEITOS DE TÉCNICAS AGRONÔMICAS NO XILEMA SECUNDÁRIO DE
COFFEA ARABICA L. (RUBIACEAE) EM REFERÊNCIA A EFICIÊNCIA
HÍDRICA”**

**“EFFECTS OF AGRONOMIC TECHNIQUES ON THE SECONDARY XYLEM
OF *COFFEA ARABICA* L. (RUBIACEAE) IN TERMS OF WATER
EFFICIENCY”**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 16 de fevereiro de 2023.

Dr. Fábio Akira Mori UFLA
Ma. Elesandra da Silva Araujo UFLA
Ma. Marina Rates Pires UFLA

Prof. Dr. Fábio Akira Mori
Orientador

Me. Ray Rodrigues de Souza
Coorientador

LAVRAS – MG

2023

**EFEITOS DE TÉCNICAS AGRONÔMICAS NO XILEMA SECUNDÁRIO DE *COFFEA ARABICA* L.
(RUBIACEAE) EM REFERÊNCIA A EFICIÊNCIA HÍDRICA**

Carolina A. Ribeiro⁽¹⁾ , Jéfyne C. Carrera⁽¹⁾ , Inês M. M. D. Oliveira⁽¹⁾ , Ray R. de Souza⁽¹⁾, Luana de
J. Sartori⁽¹⁾  e Fábio A. Mori⁽¹⁾ 

⁽¹⁾ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil
caroll.alvess22@gmail.com

Key Message: Técnicas agronômicas modificaram a estrutura do xilema secundário de *Coffea arabica* L. para alterar a eficiência hídrica, evidenciando a plasticidade da estrutura vascular da espécie.

Abstract: O cultivo de *Coffea arabica* L. é afetado negativamente pela condição de restrição hídrica, o que torna a implementação de técnicas agronômicas um aspecto relevante para a realização do plantio de cafeeiro arábica apropriado. Dessa forma, foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar a influência de diferentes técnicas agronômicas sobre a anatomia do lenho de *C. arabica* L. em relação a eficiência de condução de água. As amostras de *C. arabica* L. cultivadas com *mulching*, *Brachiaria decumbens* Stapf. Prain e gesso agrícola (5 tratamentos + controle) foram coletadas e submetidas a metodologia usual de anatomia da madeira, incluindo realização de cortes histológicos, a dissociação dos elementos celulares e montagem de lâminas. Características anatômicas quantitativas dos elementos de vaso do lenho desses cafeeiros foram mensuradas e avaliadas quanto a sua funcionalidade, sendo os dados submetidos à análise estatística. Os cafeeiros tratados com gesso agrícola e braquiária associada ao gesso agrícola investiram em arquitetura hidráulica voltada à eficiência de condução, enquanto para cafeeiros tratados com *mulching* combinado a gesso agrícola foi observado maior investimento em uma anatomia do lenho mais segura quanto ao transporte de água. Os cafeeiros tratados com *mulching* e braquiária sem gesso agrícola apresentaram resultados intermediários em relação aos demais. No geral, os resultados evidenciaram que o xilema secundário do cafeeiro tem grande plasticidade para alcançar a adaptação às diferentes condições de disponibilidade hídrica, inclusive quando são aplicadas técnicas agronômicas para aumentar a eficiência do uso da água pela planta.

Key-words: anatomia da madeira, café, braquiária, gesso agrícola, *mulching*.

Acknowledgements: Agradeço aos co-autores pelas suas contribuições neste artigo, a Uasmin Lira Zidanes pela e Mário Sérgio Lorenço pela análise em MEV, a Universidade Federal de Lavras, ao Laboratório de Anatomia da Madeira, ao Departamento de Botânica, ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café, ao Programa de Pós-Graduação de Botânica Aplicada, ao

Programa Institucional Voluntário De Iniciação Científica, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

INTRODUÇÃO

As espécies de café do gênero *Coffea* L. pertencem à quarta maior família das Angiospermas: Rubiaceae Juss. (Delprete e Jardim 2012). No Brasil, o cultivo de café possui grande importância socioeconômica e histórica (IBGE 2016), principalmente devido à *Coffea arabica* L., espécie de cafeeiro mais cultivada no país, com produtividade expressiva, representando cerca de 32 milhões de sacas de café na safra de 2022 (CONAB 2022).

O êxito em relação à produção de café é determinado por fatores externos e internos à planta capazes de influenciar o crescimento de cultivares. Entre esses fatores, a baixa disponibilidade de água afeta profundamente o desenvolvimento de *Coffea* L., podendo resultar em danos à fase reprodutiva (Torres et al. 2021), perda de biomassa foliar (Roonprapant et al. 2021) e redução da taxa fotossintética da planta (Almeida et al. 2020).

Visto como a água é essencial para a produção das cultivares de café (Lima et al. 2016) e considerando que há várias regiões brasileiras que sofrem com baixa disponibilidade de água (Nimer e Brandão 1989), faz-se necessário o estudo de novas tecnologias que possam ser incorporadas às práticas de manejos tradicionais, como coberturas e condicionadores de solo, técnicas que visam maximizar a eficiência do uso da água pela planta.

A implementação de coberturas de solo resulta em benefícios para a manutenção das relações hídricas de plantas (Araújo et al. 2022; Basch et al. 2022), uma vez que o déficit hídrico está relacionado à condição de solo exposto, como observado por Ragassi et al. (2013). O consórcio entre *Brachiaria decumbens* Stapf. Prain e o cafeeiro, por exemplo, é capaz de aprimorar a condutividade hidráulica do solo (Silva et al. 2021), reduzir o estresse hídrico e aprimorar a eficiência do uso de água pela planta (Castanheira et al. 2022). Outra cobertura conhecida como *mulching* torna-se promissora, uma vez que é relatado na literatura vários benefícios relacionados a sua aplicação, como retenção de água no solo (Geisenhoff et al. 2016), maior rendimento da colheita (He et al. 2018) e crescimento da planta (Ashrafuzzaman et al. 2011).

Junto a isso, condicionadores de solo correspondem a outra técnica agrônômica capaz de modificar características do solo, como umidade (Zsembeli et al. 2019) e pH (Oliveira Junior 2018), e, possivelmente, melhorar as relações hídricas da planta. O gesso agrícola, por exemplo, melhora as propriedades químicas do solo ao controlar sua acidez (Malavolta 2006), o que favorece o sistema radicular por propiciar maior acesso das plantas à água disponível (Nogueira et al. 2016).

Além disso, a implementação dessas técnicas agrícolas aprimora a eficiência hídrica vegetal, uma vez que elas modificam a anatomia do sistema vascular (Castanheira et al. 2019), a qual é essencial para a manutenção das

relações hídricas (Franco 2008; Rodriguez-Zaccaro e Groover 2019). O xilema secundário do caule, em especial, influencia a condutividade hídrica do corpo vegetal (Carlquist 2012; Schenk et al. 2020) e o estudo de sua anatomia possibilita a compreensão da arquitetura hidráulica em condição de restrição hídrica de cultivares (Jacobsen et al. 2007).

Embora a anatomia do lenho seja intimamente relacionada à distribuição de água para o corpo de plantas (Pittermann 2010) e um importante indicador da eficiência hídrica de cafeeiros (Matos 2016; Santos et al. 2017), são escassos estudos que levem em consideração o xilema do café quando relacionados às técnicas agrícolas citadas anteriormente. Nesse sentido, este trabalho teve como principal objetivo avaliar a influência das coberturas do solo do tipo *mulching* e braquiária, e do uso de condicionador gesso agrícola na anatomia do xilema secundário de *Coffea arabica* L., além de verificar possíveis modificações relacionadas à eficiência hídrica e funcional das plantas.

MATERIAL E MÉTODO

Coleta e Material de Estudo

No ano de 2016, foi realizado o plantio de *C. arabica* L. do cultivar “Mundo Novo 379-19” no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, Minas Gerais a 975 m de altitude, 21°14′06″ (S) de latitude e 45°00′0″ (W) de longitude. Os cafeeiros foram tratados com fertilizante convencional com formulado 20-00-20, e submetidos a diferentes tratamentos agrícolas envolvendo coberturas de solos associadas à condicionador de solo do tipo gesso agrícola e testemunha, esta última representando a ausência do condicionador (Quadro 1). Foram determinadas três coberturas de solo: filme plástico (*mulching*), *Brachiaria decumbens* Stapf. Prain e solo exposto (convencional).

Tratamento	Cobertura de solo	Condicionador de Solo
MG	<i>Mulching</i>	Gesso agrícola
M	<i>Mulching</i>	Testemunha
BG	Braquiária	Gesso agrícola
B	Braquiária	Testemunha
CG	Convencional	Gesso agrícola
C	Convencional	Testemunha

Quadro 1 Tratamentos referentes a combinações de cobertura e condicionador de solo utilizados no cultivo de *C. arabica*.

A coleta do caule dos cafeeiros ocorreu em setembro de 2021, sendo coletados cinco indivíduos correspondentes a cada tratamento selecionado. O material foi posteriormente levado ao Laboratório de Anatomia da Madeira, localizado no Departamento de Ciências Florestais da UFLA, onde foram retiradas amostras (corpos de prova) da região intermediária do caule principal dos cafeeiros (Fig. 1). Em seguida, para conservação da estrutura do xilema, as amostras foram fixadas com FAA 70% por 48 horas e, logo após, armazenadas em recipientes plásticos em álcool à concentração 70% (Johansen 1940).

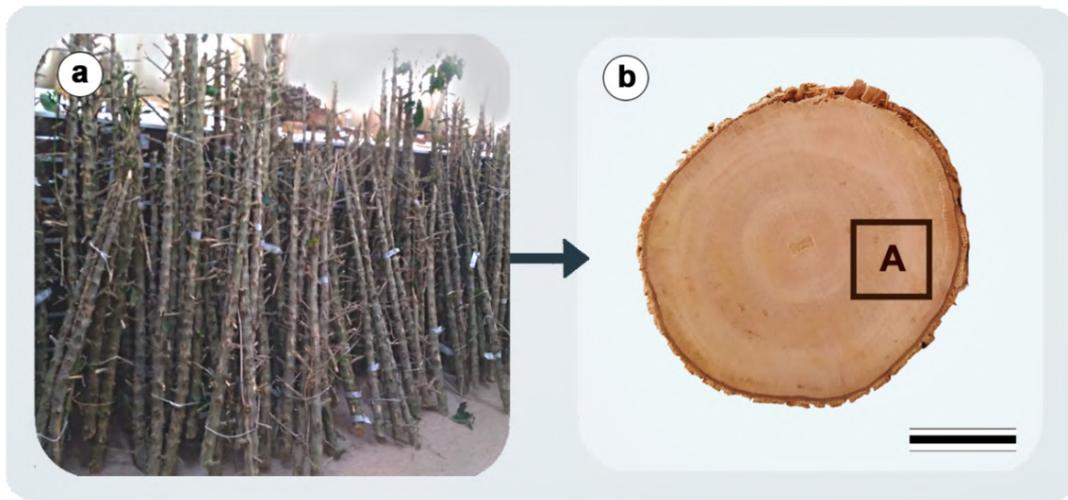


Fig. 1 Coleta da madeira de *Coffea arabica* “Mundo Novo 379-19” para estudo anatômico, em que: **a.** Caule das plantas coletadas e cultivadas com tratamentos agrícolas. **b.** Representação do caule principal do cafeeiro no qual se retiraram amostras da região intermediária do lenho (A) (escala: 1 cm)

Cortes histológicos

Cortes histológicos na secção transversal foram obtidos por meio de um micrótomo de deslize na espessura de 10 μm a 12 μm . Os cortes foram clarificados, lavados e submetidos à coloração com Safranina 1% e à série alcoólica crescente onde foram mantidos por 3 minutos em cada concentração. Em seguida, os cortes passaram por soluções combinadas de álcool etílico-acetato de butila 3:1, 1:1, 1:3 v.v e, por fim, acetato de butila P.A., sendo logo após montados em lâminas permanentes com resina sintética, método adaptado do estudo de Siegloch e Marchiori (2015).

Dissociação dos elementos celulares

O material dissociado foi obtido a partir de fragmentos longitudinais retirados das amostras. Os fragmentos foram imersos em uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1 v.v (Franklin 1945) e levados à estufa em temperatura de 60°C pelo período de 24 h. Após esse período, o material dissociado

foi lavado em água corrente e corado com Safranina 1% sendo posteriormente montado em lâminas semipermanentes com glicerina P.A.

Análise em microscopia de luz

Para a realização da análise qualitativa e quantitativa, as lâminas semipermanentes foram fotografadas com uma câmera (Nikon Infinity 1) acoplada a um microscópio de luz (Nikon Eclipse E100). As imagens foram obtidas pelo programa *Infinity Analyse* através da lente de aumento de 10X e 40X e processadas pelo *software ImageJ* (versão 1.45), com a finalidade de avaliar as características anatômicas de elemento de vaso determinadas pelo IAWA *Committee* (1989) e posteriormente modificadas por Coradin e Muñiz (1992): diâmetro, comprimento e frequência de vaso por mm². Além disso, também foram mensurados área média de vaso, fração do lúmen de vaso e agrupamento de vaso (Scholz et al. 2013).

Análise em microscopia eletrônica de varredura

Foram incorporados cortes histológicos de 10 a 12 µm da secção radial das amostras em suportes (*stubs*) com o auxílio de fita dupla face de carbono. O material foi metalizado em ouro em 41 mA durante um período de 220 segundos, sendo logo após observadas e documentadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Leo modelo Evo 40 em aceleração de voltagem de 20kV. Por meio das imagens obtidas, foram realizadas medições em relação ao diâmetro, frequência e área das pontoações intervasculares. Foi estabelecida uma classificação para a área da pontoação, uma vez que o nível de abertura influencia o fluxo de água conduzido pela estrutura: pontoação totalmente aberta; pontoação parcialmente aberta (intermediária).

Análise funcional

A partir da mensuração dos vasos do xilema secundário, a funcionalidade dos cafeeiros foi avaliada por meio do Índice de Vulnerabilidade (IV), Índice de Mesomorfia (IM) (Carlquist 1977), Índice de Condutividade (IC) (Zimmermann 1983), e pela a Fração do Lúmen de Vasos (FL) (Scholz et al. 2013):

$$IV = \frac{Dv}{Fv}$$

Onde:

Dv: Diâmetro de vaso;

Fv: Frequência de vaso;

$$IM = IV \times Cv$$

Em que:

IV: Índice de vulnerabilidade;

Cv: Comprimento de vaso;

$$IC = \frac{r^4}{Fv}$$

Em que:

r: Raio do vaso;

Fv: Frequência de vaso;

$$FL = Fv \times A$$

Onde:

Fv: Frequência de vaso;

A: Área média de vaso.

Além disso, foi analisado o agrupamento de vasos por meio do Índice de Agrupamento de Vasos (IAV) solitário e/ou não-solitário (Carlquist 1977; Longui et al. 2011), Índice de Vasos Solitários (IVS) e Tamanho Médio do Grupo de Vasos Múltiplos (VM) (Scholz et al. 2013; Von Arx et al. 2013):

$$IAV = \frac{Fv}{Av}$$

Onde:

Fv: Frequência de vaso;

Av: Agrupamento de vasos (solitários e não-solitários);

$$IVS = \frac{Ns}{N}$$

Onde:

Ns: Número de vasos solitários;

N: Número de vasos (solitários e não-solitários);

$$VM = \frac{Nn}{An}$$

Onde:

Nn: Número de vasos não-solitários;

An: Agrupamento de vasos não-solitários;

Análise de dados

Cada característica anatômica considerada foi mensurada em 50 medições, as quais foram submetidas à Análise de Variância (ANOVA) e ao teste de comparação de médias de Scott-Knott ao nível de significância de 5% no software R (Versão 4.2, R Core Team 2022), utilizando o pacote ExpDes.pt (Ferreira, Cavalcanti e Nogueira 2011). Além disso, foi conduzida a Análise de Componentes Principais (ACP) no software R (Versão 4.2, R Core Team 2022), usando os pacotes: tidyverse (Wickham et al. 2019), stats (R Core Team 2021), factoextra (Kassambara e Mundt 2020) e dbscan (Hahsler, Piekenbrock e Doran 2019), e os valores médios das repetições

(plantas coletadas) para as características quantitativas mensuradas dos elementos de vaso, excetuando-se as relativas às pontuações.

RESULTADOS

Em relação às características qualitativas, as amostras de *Coffea arabica* L. submetidas a diferentes técnicas agrônomicas não exibiram diferenças anatômicas entre os tratamentos, apresentando porosidade difusa e poros arredondados de arranjo radial predominantemente solitários (Fig. 2a, 2b e 2c), ainda sendo possível observar vasos múltiplos (Fig. 2d e 2e). O parênquima axial é apotraqueal do tipo difuso ou difuso em agregado, também podendo ser visualizado parênquima paratraqueal do tipo escasso (Fig. 2f).

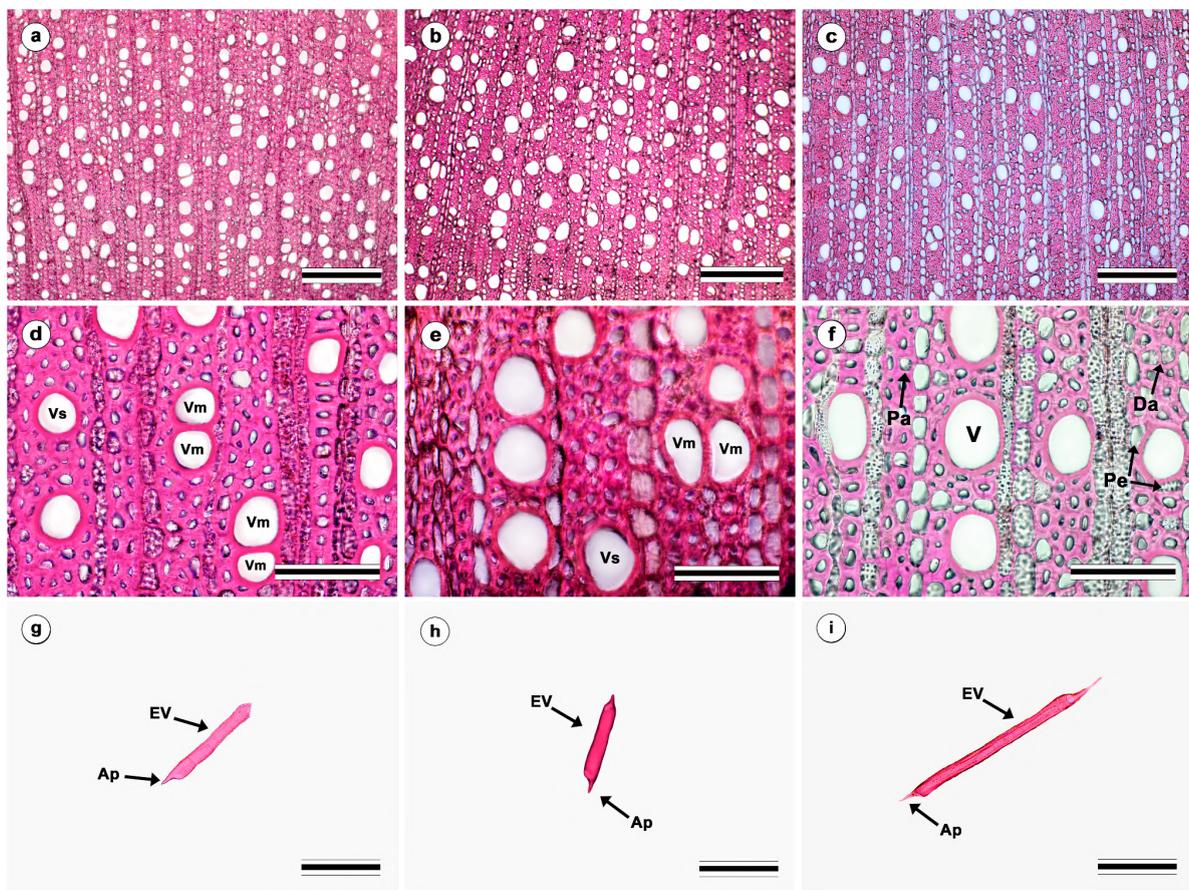


Fig. 2 Caracterização anatômica do lenho de *Coffea arabica* L. cv. "Mundo Novo 379-19" cultivados com tratamentos agrícolas. Imagens obtidas em microscópio de luz nos quais: **a-c**: Secções transversais (10X) evidenciando maior frequência (a e b) e menor frequência (c) de vasos por mm², respectivamente (escala: 300µm). **d-e**: Secções transversais (40x) apresentando vasos de menor (d) e maior diâmetro (e) do tipo solitários (Vs) e múltiplos (Vm) (escala: 100µm). **f**: Secção transversal (40x) apresentando vasos (V) de maior diâmetro, parênquima axial paratraqueal escasso (Pe), parênquima axial apotraqueal difuso (Pa) e difuso em agregado

(Da) (escala: 100 μ m). **g-i**: Elemento de vaso (EV) isolado com apêndices terminais (Ap) obtidos por lente de aumento de 10X, de menor comprimento (g, h) e de maior comprimento (i) (escala: 300 μ m). Tratamentos agrícolas representados: **a, d, g**: *Mulching* com gesso agrícola. **b, e, h**: Braquiária com gesso agrícola. **c, f, i**: Controle

Além disso, os elementos de vasos possuem apêndices terminais (Fig. 2g, 2h e 2i), pontoações intervasculares opostas dentadas (Fig. 3a) e guarnecidas (Fig. 3b), pontoações de área aberta e intermediária (Fig. 3c), além de placa de perfuração simples (Fig. 3d).

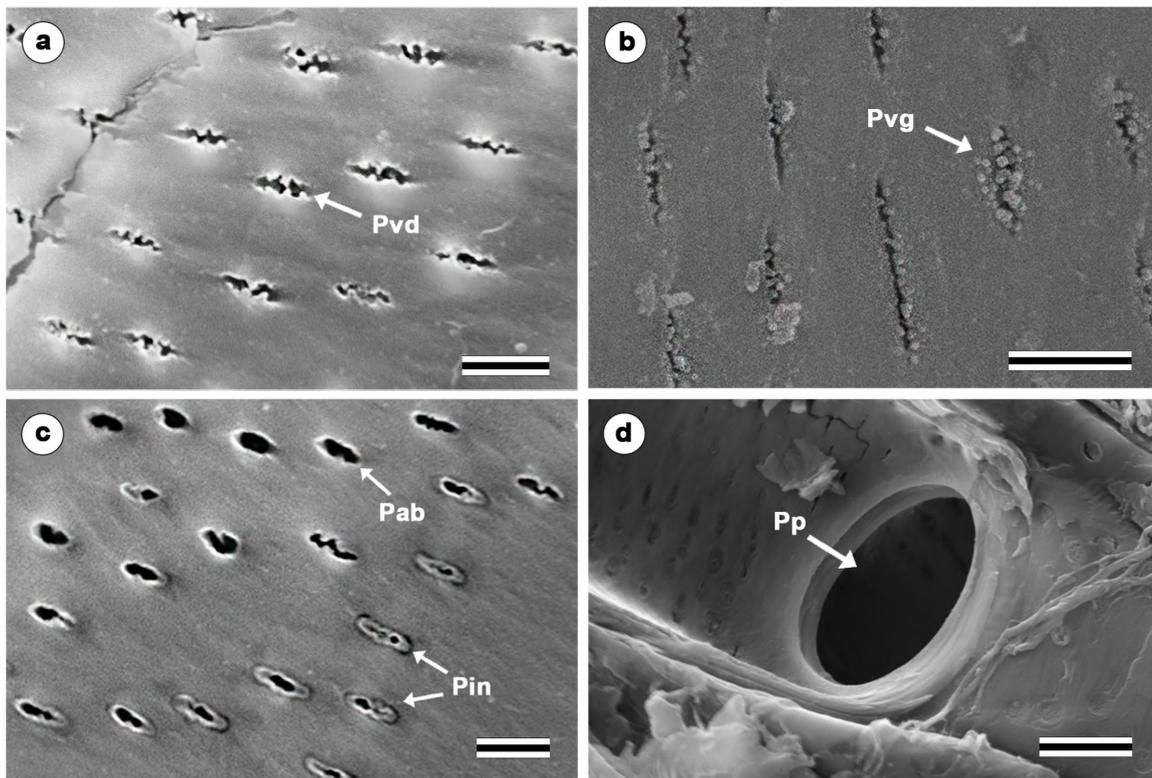


Fig. 3 Caracterização anatômica do lenho de *Coffea arabica* L. cv. “Mundo Novo 379-19” cultivados com tratamentos agrícolas. Imagens de elementos de vasos obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), nos quais: **a**. Pontoações intervasculares dentadas (Pvd) nas paredes do elemento de vaso (escala: 3 μ m). **b**. Pontoações intervasculares guarnecidas (Pvg) nas paredes do elemento de vaso (escala: 3 μ m). **c**. Nível de abertura de pontoações, evidenciando pontoação aberta (Pab) e intermediárias (Pin) (escala: 3 μ m). **d**. Placa de perfuração simples (Pp) do elemento de vaso (escala: 10 μ m). Tratamentos agrícolas representados: **a, c**: Gesso agrícola sem cobertura de solo. **b**. Controle. **d**. *Mulching* com gesso agrícola.

Para as características anatômicas quantitativas avaliadas, foram observadas diferenças significativas entre as técnicas agrônômicas aplicadas aos cafeeiros (Tabela 1). O diâmetro e área de vasos, nos tratamentos controle

(C), de braquiária com gesso agrícola (BG) e gesso agrícola (CG) não apresentam diferenças significativas entre si. O mesmo foi observado entre os tratamentos *mulching* com gesso agrícola (MG), *mulching* (M) e braquiária (B). No entanto, houve diferenças significativas na comparação entre os seis tratamentos (Tabela 1).

Quanto ao comprimento de vaso, o controle (C) e o tratamento *mulching* (M) implicaram em maiores valores, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 1). O menor valor para a característica foi visualizado no tratamento de *mulching* com gesso agrícola (MG).

Tabela 1 Valores quantitativos dos elementos de vaso do caule de cafeeiros *Coffea arabica* L. submetidos a diferentes tratamentos agrícolas: *mulching* com gesso agrícola (MG), *mulching* (M), braquiária com gesso agrícola (BG), braquiária (B), gesso agrícola (G) e controle (C)

Tratamentos	Características anatômicas				
	Diâmetro*	Comprimento	Frequência	Área	Fração de Lúmen
MG	42,29 ± 6,16 ^b	556,56 ± 101,15 ^d	80,14 ± 14,40 ^a	1429,22 ± 394,51 ^b	0,12 ± 0,03 ^a
M	41,54 ± 6,43 ^b	622,83 ± 135,38 ^a	68,86 ± 17,33 ^b	1405,10 ± 405,38 ^b	0,09 ± 0,02 ^b
BG	44,72 ± 6,40 ^a	586,37 ± 113,93 ^c	77,57 ± 16,35 ^a	1680,82 ± 411,57 ^a	0,13 ± 0,01 ^a
B	41,75 ± 6,45 ^b	573,40 ± 123,73 ^c	76,17 ± 21,76 ^a	1416,90 ± 427,15 ^b	0,11 ± 0,04 ^a
CG	44,66 ± 6,65 ^a	596,54 ± 105,35 ^b	72,27 ± 13,39 ^a	1678,70 ± 461,11 ^a	0,12 ± 0,02 ^a
C	43,91 ± 6,28 ^a	622,07 ± 120,17 ^a	62,86 ± 17,32 ^b	1613,69 ± 431,64 ^a	0,10 ± 0,02 ^b

(*) diâmetro (μm), comprimento (μm), frequência (vasos/ mm^2), área média (μm^2) e fração do lúmen de vaso (FL). Em que: Média seguida de desvio padrão e resultado da comparação entre médias ao nível de probabilidade $p \leq 0.05$; Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott quando $p \leq 0.05$

Em relação à frequência de vasos e fração do lúmen dos vasos, quase todos os tratamentos apresentaram maiores valores, com exceção do controle (C) e do *mulching* (M), diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 1).

Quanto à análise funcional dos cafeeiros (Tabelas 2, 3 e 4), os índices avaliados demonstraram diferenças significativas em relação às técnicas agrônômicas empregadas. Em relação ao Índice de Mesomorfia (IM) e ao Índice de Vulnerabilidade de Vasos (IV) (Tabela 2), o tratamento controle (C) apresentou valores superiores, diferenciando dos demais. Ainda em relação ao IM, os cafeeiros cultivados com *mulching* e braquiária associados a gesso agrícola (MG e BG) e braquiária sem condicionador de solo (B) desenvolveram os menores

resultados, sem diferenças significativas entre si. No entanto, os tratamentos citados se distinguem dos tratamentos de *mulching* (M) e de gesso agrícola (G), os quais não exibiram diferenças significativas entre si.

Em relação ao Índice de Condutividade (IC) (Tabela 2), os tratamentos de braquiária com gesso agrícola (BG) e gesso agrícola (G) não diferiram do controle (C), apresentando valores superiores aos tratamentos de *mulching* com gesso agrícola (MG), *mulching* (M) e braquiária (B).

Tabela 2 Índices de funcionalidade do xilema secundário de *Coffea arabica* L. tratados com *mulching* com gesso agrícola (MG), *mulching* (M), braquiária com gesso agrícola (BG), braquiária (B), gesso agrícola (G) e controle (C)

Tratamentos	IV*	IM	IC
MG	0,54 ± 0,11 ^b	302,95 ± 64,22 ^c	2666,59 ± 952,38 ^b
M	0,66 ± 0,22 ^b	407,82 ± 135,88 ^b	3145,51 ± 1685,60 ^b
BG	0,60 ± 0,15 ^b	352,61 ± 84,57 ^c	3545,76 ± 1417,00 ^a
B	0,60 ± 0,21 ^b	347,90 ± 143,39 ^c	2736,59 ± 971,04 ^b
CG	0,64 ± 0,14 ^b	383,51 ± 95,15 ^b	3818,73 ± 1874,36 ^a
C	0,75 ± 0,21 ^a	460,26 ± 109,02 ^a	4035,32 ± 1390,93 ^a

(*) Índices de vulnerabilidade (IV), mesomorfia (IM) e condutividade (IC). Média seguida de desvio padrão e resultado da comparação entre médias ao nível de probabilidade $p \leq 0.05$; Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott quando $p \leq 0.05$

Em relação à porcentagem de vasos, os tratamentos que tiveram o gesso agrícola como combinação, MG e BG (Tabela 3), investiram mais em vasos múltiplos em comparação aos outros tratamentos. Quando observados os índices de agrupamento, tanto para o IAV quanto para o VM, os maiores valores foram observados no tratamento do *mulching* em combinação com o gesso agrícola (MG), enquanto que para o IVS, o tratamento controle (C) foi superior (Tabela 4).

Tabela 3 Relação percentual dos vasos do lenho de *Coffea arabica* L. submetido a diferentes tratamentos agrícolas: *mulching* com gesso agrícola (MG), *mulching* (M), braquiária com gesso agrícola (BG), braquiária (B), gesso agrícola (G) e controle (C)

Tratamentos	Vaso solitário (%)	Vaso múltiplo (%)
MG	78,38 ^b	21,62 ^a
M	83,73 ^a	16,27 ^b
BG	79,54 ^b	20,46 ^a
B	85,45 ^a	14,55 ^b
CG	85,45 ^a	14,55 ^b
C	87,77 ^a	12,23 ^b

Média seguida de desvio padrão e resultado da comparação entre médias ao nível de probabilidade $p \leq 0.05$; Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott quando $p \leq 0.05$.

Tabela 4 Agrupamento de vaso do lenho de *Coffea arabica* L. submetido a diferentes tratamentos agrícolas: *mulching* com gesso agrícola (MG), *mulching* (M), braquiária com gesso agrícola (BG), braquiária (B), gesso agrícola (G) e controle (C)

Tratamentos	Índices de agrupamento		
	IAV*	IVS	VM
MG	1,18 ± 0,09 ^a	0,92 ± 0,03 ^b	3,06 ± 0,75 ^a
M	1,10 ± 0,03 ^c	0,92 ± 0,03 ^b	2,16 ± 0,15 ^c
BG	1,14 ± 0,05 ^b	0,90 ± 0,04 ^b	2,61 ± 0,72 ^b
B	1,08 ± 0,03 ^c	0,92 ± 0,03 ^b	2,11 ± 0,21 ^c
CG	1,08 ± 0,04 ^c	0,92 ± 0,03 ^b	2,07 ± 0,11 ^c
C	1,07 ± 0,04 ^c	0,95 ± 0,05 ^a	2,18 ± 0,28 ^c

(*) Índices de agrupamento de vaso (IAV) e de vaso solitário (IVS), e tamanho médio do grupo de vasos múltiplos (VM). (**) Média seguida de desvio padrão e resultado da comparação entre médias ao nível de probabilidade $p \leq 0.05$; Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott quando $p \leq 0.05$

Quanto às características quantitativas das pontuações intervasculares, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos aplicados aos cafeeiros estudados (Tabela 5). Para o diâmetro, o tratamento *mulching* associado a gesso agrícola (MG) se diferenciou de todos os demais tratamentos, podendo ser observado o mesmo para braquiária sem condicionador de solo (B). Em relação a frequência das pontuações

intervasculares, os tratamentos controle (C), *mulching* com gesso agrícola (MG) e gesso agrícola (G) não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 5), demonstrando maiores valores.

Para a área de pontuação do tipo aberta, todos os tratamentos apresentaram médias superiores, com exceção da braquiária com gesso agrícola (BG), a qual se diferenciou dos demais (Tabela 5). Quanto à área intermediária, o maior valor corresponde ao *mulching* com gesso agrícola (MG), se diferenciando das técnicas agrícolas restantes (Tabela 5). Os menores valores de área intermediária são atribuídos aos tratamentos gesso agrícola (G) e braquiária com gesso agrícola (BG), se diferenciando dos outros tratamentos.

Tabela 5 Valores quantitativos das pontuações intervasculares do xilema secundário de *Coffea arabica* L. cultivados com diferentes tratamentos agrícolas: *mulching* com gesso agrícola (MG), *mulching* (M), braquiária com gesso agrícola (BG), braquiária (B), gesso agrícola (G) e controle (C)

Tratamentos	Diâmetro*	Frequência	Área	
			Aberta	Intermediária
MG	2,15 ± 0,31 ^a	0,07 ± 0,02 ^a	0,49 ± 0,18 ^a	0,17 ± 0,08 ^a
M	2,04 ± 0,35 ^b	0,05 ± 0,01 ^b	0,48 ± 0,14 ^a	0,14 ± 0,06 ^c
BG	2,08 ± 0,31 ^b	0,05 ± 0,03 ^b	0,37 ± 0,11 ^b	0,10 ± 0,05 ^e
B	1,82 ± 0,36 ^d	0,04 ± 0,03 ^b	0,45 ± 0,15 ^a	0,13 ± 0,06 ^d
CG	1,92 ± 0,28 ^c	0,07 ± 0,01 ^a	0,44 ± 0,15 ^a	0,10 ± 0,05 ^e
C	1,85 ± 0,30 ^c	0,06 ± 0,02 ^a	0,46 ± 0,15 ^a	0,16 ± 0,06 ^b

(*) Diâmetro (µm), frequência de pontuações por µm², área (µm²) das pontuações intervasculares. (**) Média seguida de desvio padrão e resultado da comparação entre médias ao nível de probabilidade $p \leq 0.05$; Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott quando $p \leq 0.05$

Na Fig. 4 é possível observar como as variáveis contribuíram na separação dos tratamentos, com o componente 1 (Dim1) explicando 49,4%, e o componente 2 (Dim2) 23,2% da variância das características quantitativas avaliadas. No eixo 1, a frequência de vasos, a porcentagem e o tamanho médio do grupo de vasos múltiplos, bem como o agrupamento de vasos e a fração do lúmen de vasos tiveram maior contribuição, separando os tratamentos que tiveram a adição de gesso agrícola como condicionador de solo (Fig. 4). Por outro lado, no eixo 2, tanto o comprimento de vasos quanto a porcentagem de vasos solitários aproximaram os tratamentos nos quais apenas a braquiária (B) ou o *mulching* (M) foram utilizados. É importante destacar também, que as características relacionadas à funcionalidade e eficiência hidráulica separam os tratamentos controle (C) e gesso agrícola (G) dos demais grupos.

conferida pelo baixo diâmetro de vaso, área média de vaso, e menor índice de condutividade (IC). Quando aplicado a plantações, o gesso agrícola atua controlando a acidez do solo (Malavolta 2006), induzindo a maior absorção de água e nutrientes pela planta (Nuernberg et al. 2005; Oliveira Junior 2018), o que influencia no número de vasos do xilema (Castanheira et al. 2019). Além disso, o desempenho do gesso agrícola é intensificado quando associado a braquiária, cobertura de solo vantajosa para o desenvolvimento e produtividade do café (Ragassi et al. 2013).

Contudo, a eficiência hidráulica e a segurança hídrica são características antagônicas (Sperry et al. 2006; Lens et al. 2011; Van Der Sande et al. 2019). Assim, um incremento na eficiência, tende a elevar a chance de ocorrência de embolias no xilema (Evert 2006; Grossiord et al. 2020). Para os cafeeiros tratados com *mulching* e gesso agrícola (MG), é possível observar o maior investimento na segurança hídrica em relação a anatomia do lenho, representado pela maior frequência de vasos, porcentagem de vasos múltiplos, índice de agrupamento de vasos (IAV), número médio de vasos múltiplos (VM), e menor diâmetro e comprimento de vaso, características que reduzem o risco de formação de bolhas de ar no interior dos conduítes (Carlquist 1984; Lens et al. 2011; Knipfer et al. 2015).

Ademais, é possível observar maior investimento nas pontoações intervasculares com a aplicação dos tratamentos controle (C), gesso agrícola sem cobertura de solo (G) e *mulching* associado a gesso agrícola (MG), possibilitando um fluxo de água livre superior (Monteiro e Lima 2020). Contudo, para *mulching* com gesso agrícola (MG), o maior desenvolvimento quanto às características anatômicas das pontoações intervasculares e dos vasos múltiplos (VM) (Tabela 5 e 4) conferem maior segurança hidráulica para a planta (Smith et al. 2013), visto que há uma relação funcional entre estas duas características (Fujii et al. 2001).

Quanto a análise funcional, todos os tratamentos aplicados aos cafeeiros apresentaram índices de mesomorfia (IM) maior que 200, estabelecendo que as plantas deste estudo são classificadas como mesomórficas (Carlquist, 1977), característica correspondentes às espécies da família Rubiaceae (Marques et al. 2015; Melo Júnior et al. 2017a). Para o índice de vulnerabilidade (IV), também é possível observar valores relacionados à segurança hídrica da planta. Todos os tratamentos apresentaram valores inferiores à 1, o que indica maior segurança no transporte de água quando em condição de restrição hídrica (Carlquist, 1977). Ressalta-se que a redução nos valores de IM e IV indica menor suscetibilidade à ocorrência de embolia e maior investimento em segurança hídrica (Marques et al. 2012), desta forma, em comparação aos outros tratamentos, o tratamento controle (C), seria o menos seguro (Tabela 2).

O investimento em um transporte de água seguro é vantajoso para o cafeeiro, uma vez que a eficiência hídrica é alcançada quando há um equilíbrio entre a segurança e a condução hidráulica tendo como referência o ambiente no qual a planta é cultivada (Grossiord et al. 2020). Quanto aos tratamentos controle (C) e gesso agrícola (G), a alta capacidade de condução hidráulica desenvolvida pelas plantas é vantajosa para condições de grande disponibilidade de água, como exposto por Melo Júnior et al. (2017b). Porém, como há um maior risco de ocorrência de embolia na estrutura do lenho, a anatomia desenvolvida pelo xilema se torna inadequada em ambientes de baixa disponibilidade hídrica. Quanto a braquiária com gesso agrícola (BG), apesar dos cafeeiros cultivados desenvolverem características próximas a eficiência de transporte, como citado anteriormente, é possível observar características de segurança hidráulica que afastam este tratamento do controle (C) e do gesso agrícola (G), como Índice de agrupamento de vaso (IAV), a frequência e fração de lúmen de vasos, e porcentagem e tamanho médio do grupo de vasos múltiplos (VM) (Fig. 4).

A relação entre eficiência e segurança hidráulica observada nos tratamentos foi corroborada na análise de componentes principais (ACP) (Fig. 4), onde foi possível separar os grupos em maior eficiência hidráulica (C e G), menor eficiência hidráulica (BG), intermediários (B e M) e segurança hidráulica (MG), levando em consideração as características de eficiência e segurança citadas anteriormente (Carlquist, 1977; Sperry et al. 2006; Lens et al. 2011).

A quantidade de água disponível no meio de cultivo está intrinsecamente relacionada à propriedade de reajuste e adaptação do lenho (Melo Júnior et al. 2016), de forma que a condição de restrição hídrica requer estruturas anatômicas que favorecem a segurança hidráulica do xilema (Bacelar et al. 2007; Nery 2020). Em relação aos cafeeiros cultivados com *mulching* associado a gesso agrícola (MG), especialmente, o investimento em segurança hidráulica é eficaz para condições de baixa disponibilidade hídrica por ser capaz de manter o fluxo de água na planta, demonstrando o possível uso do tratamento *mulching* com adição de gesso agrícola para condições de cultivo com restrições hídricas, devido a plasticidade alcançada pelo xilema.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram a influência de técnicas agronômicas de coberturas e condicionador de solo sobre a anatomia do xilema secundário do café, evidenciando modificações quantitativas nos componentes deste tecido condutor, como diâmetro, frequência e nível de agrupamento de vaso, para favorecer a eficiência hídrica apropriada à planta, seja pela eficiência ou pela segurança hidráulica. Concluiu-se que a implementação de gesso agrícola sem cobertura de solo (G) e braquiária com gesso agrícola (BG) resultou em características

anatômicas que favorecem a eficiência hidráulica na planta. Quanto às plantas submetidas ao tratamento de *mulching* com gesso agrícola (MG), estas desenvolveram arquitetura hidráulica relacionada a maior segurança hidráulica do café, tornando a aplicação deste tratamento favorável para cultivos em condição de baixa disponibilidade hídrica. No geral, a aplicação de *mulching* (M) e braquiária (B) aos cafeeiros resultou em valores intermediários quando comparado aos demais tratamentos. Ressalta-se a necessidade de estudos futuros com ênfase na ecofisiologia da planta com finalidade de proporcionar resultados que complementem e ampliem o entendimento existente acerca das relações hidráulicas da planta nessas condições, possibilitando o aperfeiçoamento do cultivo de cafeeiros.

REFERÊNCIAS

- Almeida VG, Sousa CM, Santos SGF, Sarti JK, Silva DP, Pereira W (2020) Gas exchange of coffee trees (*Coffea arabica*) at high temperatures in the Cerrado of Goiás. *Res Soc Dev*, 9(11):e4779119973. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9973>
- Araújo DL, Souto AGL, Cavalcante AG, Cavalcante LF, Pereira WE, Melo AS (2022) Aspectos fisiológicos do maracujazeiro-amarelo com uso de hidrogel e *mulching*. *Rev Caatinga*, 35(2):382-392. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n214rc>
- Ashrafuzzaman M, Halim MA, Ismail MR, Shahidullah SM, Hossain MA (2011) Effect of Plastic Mulch on Growth and Yield of Chilli (*Capsicum annum* L.). *Braz. Arch. Biol. Technol*, 54(2):321-330. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000200014>
- Bacelar EM, Moutinho-Pereira JM, Gonçalves BC, Ferreira HF, Correia CM (2007) Changes in growth, gas exchange, xylem hydraulic properties and water use efficiency of three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environ Exp Bot* 60(2):183-192. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.10.003>
- Basch G, Saavedra N, Soares M (2022). Poupança de água na cultura do milho através da cobertura do solo. *Rev Agrotec* 42:16-19. <http://doi.org/10174/33447>
- Carlquist S (1977) Ecological factors in wood evolution, a floristic approach. *Am J Bot* 64(7):887-896. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb11932.x>
- Carlquist S (1984) Vessel grouping in dicotyledon wood. *Aliso* 10(4):505-525. <https://doi.org/10.5642/aliso.19841004.03>
- Carlquist S (2001) Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. *Springer Ser Wood Sci (Springer Berlin Heidelberg)* 448. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04578-7>
- Carlquist S (2012) How wood evolves: A new synthesis. *Bot* 90(10):901-940. <https://doi.org/10.1139/b2012-048>

- Castanheira DT, Barcelos TR, Guimarães RJ (2019) Agronomic techniques for mitigating the effects of water restriction on coffee crops. *Coffee Sci* 14(1):104-115. <http://doi.org/10.25186/cs.v14i1>
- Castanheira DT, Guimaraes RJ, Rezende TT, Carvalho MAF, Knuppel CA, Carvalho RCS (2022) Optimization of water use in “*Coffea arabica*” L. grown under different agronomic practices. *Aust J Crop Sci*, 16(7):870-878. <http://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.07.p2355>
- Conab (2022) Acompanhamento da safra brasileira de café - safra 2022 - Quarto levantamento. Brasília, 9(4):1-52.
- Coradin VTR, Muñoz GIB (1992) Normas de Procedimentos em Estudo de Anatomia da Madeira: Angiospermas e Gimnospermas. Brasília: IBAMA.
- Delprete PG, Jardim JG (2012) Systematics, taxonomy and floristics of Brazilian Rubiaceae: an overview about the current status and future challenges. *Rodriguésia*, 63(1):101-128. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602012000100009>
- Evert RF (2006) *Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. John Wiley & Sons.
- Franco AC (2008) Relações hídricas em plantas do cerrado: As plantas lenhosas do cerrado transpiram livremente? In: Prado CHBA, Casali CA (ed) *Fisiologia vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral*. Barueri: Manole.
- Franklin GL (1945) Preparation of thin sections of synthetic resin and wood: resin composites, and a new macerating method for wood. *Nat*, 155(51). <https://doi.org/10.1038/155051a0>
- Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA (2021) *ExpDes.pt: Pacote experimental designs (portuguese)*, R package version 1.2.1 <https://CRAN.R-project.org/> Acesso em 26 de Julho de 2022
- Fichtler E, Worbes M (2012) Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA J*, 33(2):119-140. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000084>
- Fujii T, Lee SJ, Kuroda N, Suzuki Y (2001) Conductive function of intervessel pits through a growth ring boundary of *Machilus thunbergii*. *IAWA J*, 22(1). <https://doi.org/10.1163/22941932-90000264>
- Geisenhoff LO, Pereira GM, Lima Junior JAD, Silva AL, Aviz WL (2016) Greenhouse crisphead lettuce grown with mulching and under different soil water tensions. *Engenharia Agrícola*, 36:46-54. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p46-54/2016>
- Grossiord C, Ulrich DEM, Vilagrosa A (2020) Controls of the hydraulic safety - efficiency trade-off. *Tree Physiology*, 40(5):573-576. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa013>

- Hahsler M, Piekenbrock M, Doran D (2019) dbscan: Density Based Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) and Related Algorithms. *J. Statistical Softw.*, 91:1-30. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v091.i01>
- He G, Wang Z, Li S, Malhi SS (2018) Plastic mulch: Tradeoffs between productivity and greenhouse gas emissions. *J Clean Prod*, 172:1311-1318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.269>
- IAWA Committee (1989) IAWA list of microscopic features for hardwood identification. In: Wheeler EA, Baas P, Gasson PE (Ed.). *IAWA Bull* 10(3):219-332.
- IBGE (2016) A Geografia do Café. Inst. Brasileiro de Geografia e Estat. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/analises-do-territorio/15784-a-geografia-do-cafe.html?=&t=o-que-e>
- Jacobsen AL, Agenbag L, Esler KJ, Pratt RB, Ewers FW, Davis SD (2007) Xylem density, biomechanics and anatomical traits correlate with water stress in 17 evergreen shrub species of the Mediterranean-type climate region of South Africa. *J. of Ecol.*, 95(1):171-183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01186.x>
- Johansen DA (1940) *Plant microtechnique*. New York: Mc. Graw Hill.
- Kassambara A, Mundt F (2020) Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Knipfer T, Brodersen CR, Zedan A, Kluepfel DA, McElrone AJ (2015) Patterns of drought-induced embolism formation and spread in living walnut saplings visualized using X-ray microtomography. *Tree Physiol.*, 35(7):744-755. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv040>
- Lens F, Sperry JS, Christman MA, Choat B, Rabaey D, Jansen S (2011) Testing hypotheses that link wood anatomy to cavitation resistance and hydraulic conductivity in the genus *Acer*. *New Phytol*, 190(3):709-723. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03518.x>
- Lima AED, Mendes ANG, Carvalho GR, Botelho CE, Castro EDM, Cardoso DDA (2016) Desempenho agronômico de populações de cafeeiros do grupo ‘Bourbon’. *Coffee Sci.*, 11(1):22-32. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8169>
- Longui EL, Romeiro D, Silva MTD, Ribeiro A, Gouveia TC, Lima ILD, Florsheim SMB (2011) Characterization of wood and radial variation of *Pittosporum undulatum* Vent.-(pau-incenso). *Hoehnea*, 38:37-50. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062011000100004>
- Malavolta E (2006) *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo. Agron. Ceres

- Marques PA, Callado CH, Barros CF, Costa CG (2012) Variação intraespecífica do lenho de *Eugenia uniflora* L. em duas diferentes fitofisionomias do complexo vegetacional atlântico. *Floresta e Ambient.*, 19(4):483-496. <https://doi.org/10.4322/floram.2012.056>
- Marques JBC, Callado CH, Rabelo GR, Silva Neto SJS, Da Cunha M (2015) Comparative wood anatomy of species of *Psychotria* L. (Rubiaceae) in Atlantic Rainforest remnants of Rio de Janeiro State, Brazil. *Acta Bot. Bras.*, 29(3):433-444. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0006>
- Matos NMS (2016) Anatomia e fisiologia de clones de *Coffea canephora* em condições de cerrado. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Lavras.
- Melo Júnior JCF, Silva MM, Soffiatti P (2016) Anatomia ecológica da madeira de *Rudgea viburnoides* (Cham.) Benth. (Rubiaceae) em campo cerrado e rupestre. *Balduinia*, 54:22-31. <https://doi.org/10.5902/2358198023040>
- Melo Júnior JCF, Amorim MW, Oliveira GB, Vieira CV (2017a) Wood functional anatomy of *Chiococca alba* Hitch. (Rubiaceae) from cerrado. *Acta Biol. Catarinense*, 4(1):52-61. <https://doi.org/10.21726/abc.v4i1.365>
- Melo Júnior JCF, Boeger MRT, Amorim MW, Heerdt ST, Silva MM, Silva KR, Soffiatti P (2017b) Anatomia funcional da madeira e condutividade hidráulica de espécies lenhosas de restinga. In: Melo Júnior JCF, Boeger MRT (Org.). Patrimônio natural, cultura e biodiversidade da restinga do Parque Estadual Acaraí, 1st edn, Univille, pp 201-253
- Monteiro TC, Lima JT (2020) Water flow through the pits in *Eucalyptus urophylla* wood. *Floresta Ambient.*, 27(2):e20190092. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.009219>
- Nery ÍRAM (2020) Efeito da disponibilidade de água no xilema secundário e laticíferos em plantas jovens de seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.]. Tese de mestrado, Universidade Estadual Paulista.
- Nimer E, Brandão AMPM (1989) Balanço hídrico e clima da região dos cerrados. Rio de Janeiro: IBGE.
- Nogueira KB, Roque CG, Borges, MCRZ, Troleis MJB, Barreto RF, Oliveira MP (2016) Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. *Rev. Fac. Agro.*, 115(1):45-54. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5718310>
- Nuernberg NJ, Rech TD, Basso C (2005) Usos do gesso agrícola. *Epagri. Bol. Técnico.* <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/415>
- Oliveira Junior A (2018) Avaliação de diferentes dosagens de gesso agrícola aplicadas à cultura do milho. Dissertação, UniCesumar – Centro Universitário de Maringá.

- Pedrosa AW (2013) Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio entre cafeeiro e *Brachiaria brizantha*. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- Pittermann J (2010) The evolution of water transport in plants: an integrated approach. *Geobiol* 8:112-139. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2010.00232.x>
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Ragassi CF, Pedrosa AW, Favarin JL (2013) Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. *Visão Agrícola*, Piracicaba, 12:29-32.
- Rodriguez-Zaccaro FD, Groover A (2019) Wood and water: How trees modify wood development to cope with drought. *Plant., People, Planet*, 1(4):346-355. <https://doi.org/10.1002/ppp3.29>
- Roonprapanta P, Arunyanarka A, Chutteanga C (2021) Morphological and physiological responses to water deficit stress conditions of robusta coffee (*Coffea canephora*) genotypes in Thailand. *Agr Nat Resour*, 55:473-484. <https://doi.org/10.34044/j.anres.2021.55.3.18>
- Santos CS, Mendes A, Mauri J, Rodrigues G, Bartholo G, Carvalho MDF (2017) Determinação de número de vasos do xilema em genótipos de *Coffea arabica*. In: Congresso de Iniciação Científica; Congresso de Extensão; Congresso da Pós-Graduação. Lavras. Inovação Tecnológica na Universidade de Lavras.
- Scholz A, Klepsch M, Karimi Z, Jansen S (2013) How to quantify conduits in wood? *Front. Plant Sci*, 4:56. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00056>
- Siegloch AM, Marchiori, JNC (2005) Anatomia da madeira de treze espécies de coníferas. *Braz. J. Wood Sci.*, 6(3):149-165. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v6n3p149-165>.
- Schenk HJ, Jansen S, Holtta T (2020) Positive pressure in xylem and its role in hydraulic function. *New Phytol*, 230:27-45. <https://doi.org/10.1111/nph.17085>
- Silva RF, Severino CE, Oliveira GC (2021) Changes in soil profile hydraulic properties and porosity as affected by deep tillage soil preparation and *Brachiaria* grass intercropping in a recent coffee plantation on a naturally dense Inceptisol. *Soil Tillage Res* 213:105127. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105127>
- Smith M, Fridley J, Jinghing Y, Bauerle T (2013) Contrasting xylem vessel constraints on hydraulic conductivity between native and non-native woody understory species. *Front. Plant Sci* 4:486. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00486>

- Sonsin JO, Gasson PE, Barros CF, Marcati CRA (2012) Comparison of the wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado s.s. and adjacent gallery forest). *Bot J Linnean Soc* 170(2):257-276. <http://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01282.x>
- Sperry JS, Hacke UG, Pittermann J (2006) Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. *Am J Bot* 93(10):1490-1500. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.10.1490>
- Torres GAL, Campos CN, Salomon MV, Pantano AP, Almeida JASD (2021). *Coffea arabica* L: History, phenology and climatic aptitude of the state of São Paulo, Brazil. *Arq. Inst. Biol*, 88:1-12. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000602020>
- Van Der Sande MT, Poorter L, Schnitzer SA, Engelbrecht BM, Markesteijn L (2019) The hydraulic efficiency–safety trade-off differs between lianas and trees. *Ecol* 100(5):02666 <https://doi.org/10.1002/ecy.2666>
- Von Arx G, Kueffer C, Fonti P (2013) Quantifying plasticity in vessel grouping–added value from the image analysis tool ROXAS. *IAWA J* 34(4):433-445 <http://doi.org/10.1163/22941932-00000035>
- Wickham H, Averick M, Bryan J et al. (2019) Welcome to the Tidyverse. *J Open Source Softw* 4(43):1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Zanne AE, Westoby M, Falster DS et al. (2010) Angiosperm wood structure: global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. *Am J Bot* 97(2):207-215. <https://doi.org/10.3732/ajb.0900178>
- Zimmermann MN (1983) Xylem structure and the ascent of sap. Springer Ser Wood Sci (Berlin: Springer-Verlag), 66-80.
- Zsembeli J, Sinka L, Rivera-García A, Czeller K, Tuba G, Krištof K, Findura P (2019) Effect of soil conditioning on the moisture content and the salt profile of the soil under irrigation with saline water. *Agricul (Poľnohospodárstvo)* 65(2):77-87. <https://doi.org/10.2478/agri-2019-0008>

Statements & Declarations:

Financiamento: Esse estudo foi financiado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT do Café), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Conflito de interesses: Os autores não declararam conflito de interesses.

Contribuição dos autores: **Carolina Alves Ribeiro**, é a autora correspondente, escreveu, revisou e editou o manuscrito, padronizou as normas de acordo com a revista, participou do processamento das amostras, confecção das lâminas, captura das fotografias e medições, análise estatística, criação de tabelas, quadros e figuras, além da interpretação dos dados estatísticos; **Jéfyne Campos Carréra**, participou do planejamento da pesquisa, da redação e revisão do texto, da coleta das amostras, fez os cortes histológicos, a análise do MEV e a análise estatística, além da interpretação dos dados obtidos; **Inês Maria Maculan de Oliveira**, participou da coleta das amostras, do processamento das amostras, confecção de lâminas, medições, revisão e formatação do manuscrito; **Ray Souza Rodrigues**, é co-orientador do atual projeto, realizou os cortes dos cafeeiros e participou na revisão do manuscrito; **Luana de Jesus Sartori**, participou do processo de obtenção dos discos e corpos de prova e organização do material no laboratório; **Fábio Akira Mori**, é o orientador do presente trabalho, apoiou o planejamento da pesquisa e participou da revisão do manuscrito.

Data Availability: os dados gerados durante e/ou analisados durante o atual estudo estão disponíveis com o autor correspondente mediante solicitação plausível.