



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Programa de Pós-Graduação em Botânica

**Chave de múltiplo acesso de folha e madeira de espécies arbóreas do
Cerrado *s.l.* e discriminação da madeira utilizando a espectroscopia de
infravermelho próximo**

Ana Gabriela Pinheiro de Souza

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Júlia Sonsin-Oliveira

Brasília
2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Programa de Pós-Graduação em Botânica

Chave de múltiplo acesso de folha e madeira de espécies arbóreas do Cerrado *s.l.* e discriminação da madeira utilizando a espectroscopia de infravermelho próximo

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade de Brasília, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Botânica.

Discente: Ana Gabriela Pinheiro de Souza
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Júlia Sonsin-Oliveira

Brasília
2023

*“Minha saúde não é de ferro, mas meus nervos são de aço
Pra pedir silêncio, eu berro
Pra fazer barulho eu mesma faço.”*

Jardins da Babilônia – Rita Lee

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Universidade de Brasília (UnB) por esses oito anos, entrei uma jovem com sonhos e estou saindo depois que os realizei. Palavras não descrevem a gratidão que sinto por todas as coisas boas que passei aqui, pessoas que conheci, viagens, trabalhos, oportunidades, foram tantas coisas. Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da UnB, pela oportunidade da realização do meu mestrado acadêmico e crescimento profissional e pessoal que tive. Agradecer ao apoio financeiro do PROAP e FAPDF.

Ao Departamento de Botânica, às técnicas do herbário, Val e Dani e à técnica do laboratório de Anatomia Vegetal Flávia, por terem me ajudado durante os anos do mestrado, elas merecem todo o reconhecimento pelo trabalho lindo que fazem. À equipe de limpeza, segurança e demais funcionários do IB e UnB, vocês são a base desta instituição. Aos professores que estiveram presentes durante as aulas, conversas de corredor e campos, todo o aprendizado que tenho hoje foi por vocês. Em especial à professora Dulce pelas conversas enriquecedoras e apoio no campo. Agradecer aos professores que apoiaram nessa pesquisa, professor Christopher Fagg e professor Lúcio Flávio pelos ensinamentos, broncas e boas risadas.

Aos amigos que fiz na pós-graduação: Carol, Lázaro, Scheilla, Pedro, Nathaly, Margarida, Lissyane, Cinthia, Camila, Kauê, Duda, Rebecca. Vocês fizeram esse processo ficar muito mais fácil me fazendo rir quando eu achava que não conseguia mais. Agradecer à Deborah por todos os dias que ficamos até mais tarde em nossa caverna, por ter me ensinado, compartilhado seu amor e conhecimento em tecnologia e me apoiado tanto, me mostrou que ainda tem muita gente boa no mundo. Ao João Doffini que encarou chuva, sol, covid e carrapatos indo no campo comigo, sem ele eu não teria conseguido coletar as amostras. Ao Igor que foi estagiário do laboratório e me ajudou a coletar, lixar e até fotografar as amostras. Agradecer aos meus amigos de longa data, que estiveram do meu lado esse tempo todo, me apoiando e torcendo por mim perto, longe, em outro estado, país e em outro plano, vocês sempre estiveram comigo e espero estar por vocês também.

E agradecer à minha orientadora, professora Júlia Sonsin, que se tornou um modelo para mim de como é ser uma profissional no meio acadêmico, que me mostrou o mundo da anatomia da madeira, por compartilhar comigo seu amor pelas árvores e pelo Cerrado. Por todos os momentos de apoio, todas as vezes que eu pensei em desistir e ela conseguiu me

convencer a continuar, por sua compaixão, compreensão e carinho. Ela é um exemplo do que é ser uma boa orientadora.

Agradecer à minha família, pelo suporte financeiro e pessoal quando não pude me sustentar. Ao meu companheiro Daniel Brandão, sempre esteve ao meu lado, me ajudou desde a inscrição, até arrumar tabelas no *Excel*. Quando não conseguia mais me levantar da cama, foi ele quem me alimentou e cuidou de mim, me mostrou que posso confiar em mais alguém.

Em especial, à todas as mulheres que vieram antes de mim (avós, bisavós, tias, mãe), todas que tiveram seus conhecimentos depreciados por sua origem. Por toda sua luta para sustentar uma família, pois o estudo que foi negado ou dificultado a elas, me foi concedido por conta da sua força. Espero que eu consiga honrar o que me foi dado. Como diz o Emicida em uma canção “eu sou o sonho dos meus pais, que eram sonhos dos avós, que eram sonhos dos meus ancestrais”.

Aqui se inicia um ciclo maior do que eu posso imaginar.

Lista de Figuras

Capítulo 1 - Chave de identificação de múltiplo acesso com caracteres

vegetativos de madeira e folhas de ramos de espécies do Cerrado <i>s.l.</i>	p.
Fig. 1 Localização das três áreas de coleta de Cerrado <i>s.l.</i> A. Fazenda Água Limpa (FAL – UnB), círculo vermelho e Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), círculo amarelo; e B. área particular em Cocalzinho – Goiás, círculo azul).....	31
Fig. 2 <i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	45
Fig. 3 <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	46
Fig. 4 <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	47
Fig. 5 <i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	48
Fig. 6 <i>Dalbergia miscolobium</i> Benth. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	49
Fig. 7 <i>Didymopanax macrocarpum</i> (Cham. & Schltld.) Seem. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	50
Fig. 8 <i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F Macbr. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	51
Fig. 9 <i>Eriotheca pubescens</i> (Mart.) Schott & Endl. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	52
Fig. 10 <i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. Ex Hayne - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	53
Fig. 11 <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	54
Fig. 12 <i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	55
Fig. 13 <i>Machaerium opacum</i> Vogel - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	56

Fig. 14 <i>Maprounea guianensis</i> Aubl. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	57
Fig. 15 <i>Miconia burchellii</i> Triana - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	58
Fig. 16 <i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	59
Fig. 17 <i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	60
Fig. 18 <i>Qualea grandiflora</i> Mart. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	61
Fig. 19 <i>Qualea multiflora</i> Mart. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	62
Fig. 20 <i>Qualea parviflora</i> Mart. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	63
Fig. 21 <i>Roupala montana</i> Aubl. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	64
Fig. 22 <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 m.....	65
Fig. 23 <i>Tachigali aurea</i> Tul. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	66
Fig. 24 <i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	67
Fig. 25 <i>Terminalia argentea</i> Mart. & Zucc. - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	68
Fig. 26 <i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl - A. Exsicata; B. Árvore <i>in loco</i> ; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.....	69
Fig. 27 Número de vasos solitários (cinza escuro) e múltiplos (cinza claro) em porcentagem (%) por 4mm ²	77

Capítulo 2 - Classifying Cerrado tree species through the bark and transversal sections of the branch using near-infrared spectroscopy.

Figure 1 Locations of branches collected in five areas of the Cerrado biome. A map of four locations: Fazenda Água Limpa (FAL - UnB) in the red circle, Ecological Reserve of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) in yellow circle, along route L4 in the pink circle, and Park Way in the green circle; B private area in Cocalzinho – Goiás in the blue circle..... 107

Figure 2 PCAs on raw spectra acquired with the portable spectrometer from wood branch samples of seven tree species, from three sections: the bark (A, B), non-sanded (C, D), and sanded (E and F) transverse section. A, C, E used the triplicates of the spectra (n=1089). B, D, F used the spectra average (n=363). Ara: Araliaceae (nt=135; na=45), Fab: Fabaceae (nt=645; na=215), Mry: Myrtaceae (nt=144; na=48); Och: Ochnaceae (nt=165; na=55). nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average..... 113

Figure 3 PCA of the treated spectra from the bark (A, B), non-sanded (C, D), and sanded (E, F) wood from branch samples of seven tree species separated by family. A, C, E used the triplicates of the spectra (n=1089). B, D, F used the spectra average (n=363). Ara: Araliaceae (nt=135; na=45), Fab: Fabaceae (nt=645; na=215), Mry: Myrtaceae (nt=144; na=48); Och: Ochnaceae (nt=165; na=55). Best spectra treatments used: i) bark: triplicate Savitzky-Golay and MSC, average Savitzky-Golay, 2nd derivative and EMSC; ii) non-sanded transverse section: triplicates and average Savitzky-Golay, 1st derived, and MSC; iii) sanded transverse section: triplicate and average Savitzky-Golay 2nd derivative, and MSC. nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average..... 114

Figure 4 Confusion matrix for taxonomic families based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from the bark of branch samples, using the triplicate spectra (n=1089) and the spectra average (n=363). Ara: Araliaceae (nt=135; na=45), Fab: Fabaceae (nt=645; na=215), Mry: Myrtaceae (nt=144; na=48); Och: Ochnaceae (nt=165; na=55). Triplicate - Savitzky-Golay and MSC. Average - Savitzky-Golay, 2nd derivative and EMSC. nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average..... 115

Figure 5 Confusion matrix for taxonomic families based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from non-sanded 116

transverse sections from wood branch samples, using the triplicate spectra (n=1089) and the spectra average (n=363). Ara: Araliaceae (nt=135; na=45), Fab: Fabaceae (nt=645; na=215), Mry: Myrtaceae (nt=144; na=48); Och: Ochnaceae (nt=165; na=55). Triplicates and average - Savitzky-Golay, 1st derived, and MSC. nt: number of triplicate spectra, na: number of average spectra.....

Figure 6 Confusion matrix for taxonomic families based on non-treated (top rectangles) and treated spectra acquired (bottom rectangles) from sanded transverse section of branch samples, using the triplicates of the spectra (n=1089) and the spectra average (n=363). Ara: Araliaceae (nt=135; na=45), Fab: Fabaceae (nt=645; na=215), Mry: (Myrtaceae nt=144; na=48); Och: Ochnaceae (nt=165; na=55). Triplicate and average - Savitzky-Golay 2nd derivative, and MSC. nt: number of triplicate spectra, na: number of average spectra..... 117

Figure 7 PCA on raw spectra acquired with the portable spectrometer from wood branch samples of seven tree species, from three sections: the bark (A, B), non-sanded (C, D), and sanded transverse (E, F). A, C, E used triplicates of the spectra (n=1089) and B, D, F used the spectra average (n=363). Bsa: *Blepharocalyx salicifolius* (t=144; na=48), Bvi: *Bowdichia virgilioides* (nt=180; na=60), Cla: *Copaifera langsdorffii* (nt=135; na=45), Dma: *Didymopanax macrocarpus* (nt=135; na=45), Dmi: *Dalbergia miscolobium* (nt=165; na=55), Mop: *Machaerium opacum* (nt=165; na=55), Ohe: *Ouratea hexasperma* (nt=165; na=55). nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average..... 118

Figure 8 PCA of the treated spectra acquired with the portable spectrometer from wood branch samples of seven tree species, from three sections: the bark (A, B), non-sanded (C, D), and sanded transverse sections (E, F). A, C, E used triplicates of the spectra (n=1089) and B, D, F used the spectra average (n=363). Bsa: *Blepharocalyx salicifolius* (nt=144; na=48), Bvi: *Bowdichia virgilioides* (nt=180; na=60), Cla: *Copaifera langsdorffii* (nt=135; na=45), Dma: *Didymopanax macrocarpus* (nt=135; na=45), Dmi: *Dalbergia miscolobium* (nt=165; na=55), Mop: *Machaerium opacum* (nt=165; na=55), and Ohe: *Ouratea hexasperma* (nt=165; na=55). Treatments used: i) bark - triplicate Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC, average Savitzky-Golay 2nd derivative, and EMSC; ii) non-sanded – triplicate and average Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC; iii) sanded – 119

triplicate and average SavitzkyGolay, 2nd derivative, and MSC. nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average.....

Figure 9 Confusion matrix for species based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from the bark of branch samples, using the triplicate spectra (n=1089) and the spectra average (n=363). Bsa: *Blepharocalyx salicifolius* (nt=144; na=48), Bvi: *Bowdichia virgilioides* (nt=180; na=60), Cla: *Copaifera langsdorffii* (nt=135; na=45), Dma: *Didymopanax macrocarpus* (nt=135; na=45), Dmi: *Dalbergia miscolobium* (nt=165; na=55), Mop: *Machaerium opacum* (nt=165; na=55), and Ohe: *Ouratea hexasperma* (nt=165; na=55). Triplicate - Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC. Average Savitzky-Golay 2nd derivative, and EMSC. Green color indicates the confusion in the same family. nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average.....

120

Figure 10 Confusion matrix for species based on treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from non-sanded transverse section of branch samples, using the triplicate spectra (n=1089) and the spectra average (n=363). Bsa: *Blepharocalyx salicifolius* (nt=144; na=48), Bvi: *Bowdichia virgilioides* (nt=180; na=60), Cla: *Copaifera langsdorffii* (nt=135; na=45), Dma: *Didymopanax macrocarpus* (nt=135; na=45), Dmi: *Dalbergia miscolobium* (nt=165; na=55), Mop: *Machaerium opacum* (nt=165; na=55), and Ohe: *Ouratea hexasperma* (nt=165; na=55). Triplicate and average - Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC. Green color indicates the confusion in the same family. nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average.....

121

Figure 11 Confusion matrix for species based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from sanded transverse section of branch samples, using the triplicate spectra (n=1089) and the spectra average (n=363). Species: Bsa: *Blepharocalyx salicifolius* (nt=144; na=48), Bvi: (*Bowdichia virgilioides* (nt=180; na=60), Cla: *Copaifera langsdorffii* (nt=135; na=45), Dma: *Didymopanax macrocarpus* (nt=135; na=45), Dmi: *Dalbergia miscolobium* (nt=165; na=55), Mop: *Machaerium opacum* (nt=165; na=55) and Ohe: *Ouratea hexasperma* (nt=165; na=55). Triplicate and average - Savitzky-Golay, 2nd derivative, and MSC. Green color indicates the confusion in the same family. nt: number of triplicates of the spectra, na: number of spectra average.....

122

Lista de Tabelas

Capítulo 1 - Chave de identificação de múltiplo acesso com caracteres vegetativos de madeira e folhas de ramos de espécies do Cerrado *s.l.* p.

Tabela 1 Relação de espécies coletadas no Cerrado <i>s.l.</i> com nome popular de acordo com Silva Júnior (2014). UBw = nº de tombo na coleção de madeira na Universidade de Brasília.....	32
Tabela 2 Descrição das espécies por características da folha. O símbolo ‘x’ indica que a característica está sempre presente, enquanto ‘o’ significa que pode ou não ser encontrada ou com pouca frequência.....	37
Tabela 3 Descrição das espécies por características da folha. O símbolo ‘x’ indica que a característica está sempre presente, enquanto ‘o’ significa que pode ser encontrada com pouca frequência. CC = camadas de crescimento; >DiV = maior diâmetro de vasos; S = solitário; M = múltiplo.....	41
Tabela 4 Chave de identificação de múltiplo acesso de 25 espécies arbóreas do Cerrado com características vegetativas – folha e madeira, encontradas na FAL-UnB. Nas intersecções que apresentam a letra “K.”, devem-se olhar a chave auxiliar do grupo selecionado.....	69
Tabela 5 Chave de identificação de múltiplo acesso de 25 espécies arbóreas do Cerrado com características vegetativas – folha e madeira, encontradas na FAL-UnB. Nas intersecções que apresentam a letra “K.”, devem-se olhar a chave auxiliar do grupo selecionado.....	72
Tabela 6 Chave de identificação auxiliar para as espécies <i>Kielmeyera speciosa</i> e <i>Kielmeyera coriacea</i> com características da anatomia macroscópica da madeira. CC = camada de crescimento.....	73
Tabela 7 - Imagem da chave de identificação de múltiplo-acesso interativa de 25 espécies de árvores do Cerrado <i>s.l.</i> Camada de crescimento = c.c.....	74
Tabela 8 Número de vasos em porcentagem de acordo com cada espécie analisada. Diâmetro dos vasos classificados em pequenos (P) (menores que 0,05 mm), médios (M) (0,051 e 0,100 mm), grandes (G) (0,11 e 0,200 mm) e muito grande (MG) (maiores que 0,200 mm). Densidade de vasos classificados em médios (M) (20-40 V	76

4 mm-2) numerosos (N) (40-100 V 4 mm-2) e muito numerosos (MN) (mais do que 100 V 4 mm-2).....

Tabela 9 Número de raios em porcentagem de acordo com cada espécie analisada. Frequência de raios classificados em: muito poucos (MP) (menos que 25 R mm-1); poucos (P) (26 a 50 R mm-1); e numerosos (N) (0,051 a 0,08 R mm-1). Largura dos raios classificados em: extremamente finos (EF) (<0,015 mm); muito fino (MF) (0,015 a 0,03 mm); fino (F) (0,031 a 0,05 mm); estreito (E) (0,051 a 0,100mm); largo (L) (> 0,1 mm). Altura dos raios classificados em: pequeno (P) (< 0,100 mm); e grandes (G) (≥ 0,100 mm)..... 78

Capítulo 2 - Classifying Cerrado tree species through the bark and transversal sections of the branch using near-infrared spectroscopy.

Table 1 Macroscopic description of wood by species, focusing on axial parenchyma, vessels, rays..... 111

Table 2 PLS-DA of the spectra collected on the bark, triplicates and average of the data separated by family and species..... 123

Table 3 PLS-DA of the spectra collected on the transverse section of non-sanded wood, triplicates and average of the data separated by family and species..... 124

Table 4 PLS-DA from spectra acquired on sanded transverse section of wood branches in triplicates and average. Data separated by family and species, performed with 20 factors..... 125

Sumário	p.
1. Resumo	15
2. Introdução e referência bibliográfica.....	16
3. Objetivos.....	21
3.1. Objetivo geral.....	21
3.2. Objetivos específicos.....	21
4. Referências bibliográficas.....	21

Capítulo 1 - Chave de identificação de múltiplo acesso com caracteres vegetativos de madeira e folhas de ramos de espécies do Cerrado *s.l.* 26

1. Resumo.....	27
2. Introdução.....	28
3. Materiais e métodos.....	31
3.1 Áreas e coleta de amostras.....	31
3.2 Tratamento, análise e descrição foliar.....	33
3.3 Tratamento, análise e descrição da madeira.....	33
3.4 Produção da Chave de múltiplo acesso.....	34
4. Resultados.....	36
4.1 Descrição macroscópica das folhas e madeiras.....	36
4.2 Chave de Identificação de Múltiplo Acesso.....	70
4.4 Análise quantitativa da madeira.....	76
5. Discussão.....	79
6. Conclusão.....	83
7. Agradecimentos.....	83
7. Referências bibliográficas.....	84
8. Informação suplementar I – Vouchers UB e UBw.....	89
9. Informação suplementar II – Descrição das espécies.....	91

Capítulo 2 - Classifying Cerrado tree species through the bark and transversal sections of the branch using near-infrared spectroscopy. 102

1. Abstract.....	103
------------------	-----

2. Introduction.....	103
3. Materials and methods.....	106
3.1 Sample area, collection, and preparation.....	106
3.2 Wood branch sample preparation.....	108
3.4 Near Infrared Analysis (NIRS).....	109
3.5 Data analysis.....	110
4. Results.....	110
4.1 Data analysis: Family.....	111
4.2 Data analysis: species.....	112
4.3 Partial Least Square – Discriminant Analysis (PLS-DA)	112
5. Discussion.....	126
6. Conclusion	129
7. Acknowledgments.....	130
8. References	130
9. Supplementary material I – Vouchers UBw.....	137
10. Supplementary material II.....	142

RESUMO

Importante para o conhecimento científico, a identificação de espécies pode ser utilizada em levantamentos florestais e caracterização de vegetações. Para que ocorra a determinação de uma espécie, são utilizadas chaves de identificação dicotômicas, que podem exigir alto nível de detalhamento e conhecimento botânico, e as chaves de múltiplo acesso, que requerem um menor número de características para se chegar a uma identificação. Entretanto, ainda existem regiões no Brasil que são encontradas poucas chaves de identificação de espécies arbóreas com o uso de caracteres vegetativos, a exemplo do bioma Cerrado. Outra forma de discriminação de espécie é com a utilização da Espectroscopia do Infravermelho Próximo (NIRS), que funciona como um método rápido e não destrutivo, além de não necessitar de um especialista em taxonomia e anatomia da madeira para realizar a identificação. O presente trabalho teve o objetivo de criar uma chave de identificação de múltiplo acesso e uma interativa com caracteres anatômicos macroscópicos de madeira e folha para a distinção de 25 espécies arbóreas do Cerrado. Além de criar uma base de dados que permite a discriminação de sete espécies arbóreas de Cerrado com a utilização do NIRS. Para isso, foram coletadas amostras de ramos com 4 cm de diâmetro de espécies de árvores do Cerrado, em cinco áreas de coleta no Distrito Federal e uma em Goiás. A morfologia externa da folha e anatomia macroscópica da madeira dos ramos foram descritas para a criação de ambas as chaves de identificação. Para o NIRS foram coletados os espectros da madeira de sete indivíduos: *Blepharocalyx salicifolius* (Myrtaceae); *Bowdichia virgilioides*; *Copaifera langsdorffii*; *Dalbergia miscolobium*, *Machaerium opacum* (Fabaceae); *Didymopanax macrocarpus* (Araliaceae); e *Ouratea hexasperma* (Ochnaceae). Essa é a primeira chave de identificação de múltiplo acesso e chave interativa, que é produzida para espécie de árvores do Cerrado. As diferenças anatômicas macroscópicas das madeiras e das folhas em conjunto foram suficientes para a distinção das 25 espécies presentes nas chaves, entretanto, foi necessário produzir uma chave auxiliar para as espécies *Kielmeyera coriacea* e *K. speciosa* que não puderam ser separadas na primeira parte da chave de múltiplo acesso. Ambas as chaves podem facilitar e agilizar a identificação até mesmo em campo, sem a necessidade de um especialista. Para o NIRS, com a utilização da análise LDA foi possível discriminar as sete espécies com uma acurácia de (97%) e as famílias com uma acurácia de (99%) no plano transversal lixado. Entretanto, mesmo que apresentando uma acurácia menor, os espectros coletados na casca e madeira não lixada, tiveram uma acurácia maior que 90%, sendo possível sua utilização na separação das espécies. Os resultados da PLS-DA foram satisfatórios para o plano transversal lixado em cinco espécies. Entretanto, *Ouratea hexasperma* teve um melhor resultado na coleta dos espectros na casca (R^2 0,82) e *Dalbergia miscolobium* no plano transversal não lixado (R^2 0,84). Assim, o NIRS é uma boa opção para a discriminação dessas sete espécies de árvores do cerrado com espectros coletados em ramos sem a necessidade de lixar as amostras. Há a indicação de ampliar o número de amostras, aumentando assim a base de dados, para aumentar a precisão da distinção utilizando a casca e diminuição na necessidade de tratamento da amostra.

Palavras-chave: chave de identificação; descrição macroscópica; madeira; folha; morfologia externa; NIRS; xilema secundário.

INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A importância da identificação de espécies de árvores está relacionada com o combate da venda ilegal de madeira (Dormontt *et al.*, 2015), assim como, com a preservação de áreas degradadas (Sartonelli & Campos Filho, 2017). Quando não se tem o conhecimento de qual madeira está sendo comercializada, as espécies ameaçadas de extinção e aquelas vitais para a manutenção de áreas de preservação, correm o risco de serem extraídas indiscriminadamente, ocasionando em um aumento no desmatamento e degradação do meio ambiente (Malhi *et al.*, 2014). Neste contexto, é crucial destacar a necessidade de aprimorar as práticas de identificação de espécies arbóreas, bem como implementar regulamentações eficazes para garantir a sustentabilidade do comércio de produtos madeireiros (Dormontt *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o bioma cerrado vem sendo dizimado nos últimos anos (MapBiomias, 2023). O estudo de Levy *et al.* (2018) relata que o Brasil apresenta uma marca do avanço da degradação ambiental, o chamado arco de desmatamento, que segue da Amazônia ao Cerrado, acontecimento atribuído ao avanço do agronegócio com fortalecimento da pecuária e monocultura e a extração de madeira ilegal. Outro efeito do desmatamento é a fragmentação do bioma, em que resta apenas pequenas áreas isoladas que se contrastam com a paisagem agrícola, se resumindo a encostas mais íngremes e topos de morro (Malhi *et al.*, 2014). Esses fatores são acompanhados de prejuízo ambiental e perda da biodiversidade.

Por isso, o Cerrado é considerado um dos 25 *hotspots* globais, que é um local que possui alto endemismo e desmatamento (Mittermeier *et al.*, 1999). Esse bioma possui cerca de 12.356 espécies vegetais, das quais 37% são endêmicas (Flora do Brasil, 2020). As espécies vegetais encontradas nesse bioma, assim como demais savanas, possuem adaptações para resistir ao fogo e a seca, como casca espessa, xilopódios e folhas de consistência coriácea (Furquim *et al.*, 2018), mas essas adaptações só protegem quando o fogo é de origem natural e de curta duração (Ratter *et al.*, 1997). Porém, quando o fogo tem origem antrópica de regime contínuo ocasiona em forte impacto na estrutura lenhosa que, por consequência, causa uma degradação a vegetação (Medeiros & Miranda, 2005), que afeta diretamente o solo, (Eberhardt *et al.*, 2021), assim como nascentes e rios que abastecem as cidades, as plantações e as criações de gado (Souza *et al.*, 2019).

Esse cenário também foi observado no estudo de Alves *et al.* (2020) realizado em uma área de Cerrado no estado do Mato Grosso, foi constatado que no intervalo de 20 anos ocorreu uma supressão de 22,2% da cobertura vegetal, “fator este atrelado ao crescimento econômico regional com a consolidação da pecuária, do turismo e da produção agrícola” (Alves *et al.*,

2020, p. 11). Essa retração ocorre principalmente pela queima de vegetação e se intensificam a cada ano (Schmidt & Eloy, 2020). Sendo assim, para preservar áreas remanescentes e recuperar áreas degradadas, faz-se necessário o conhecimento da vegetação que a compõe, com a determinação da flora do local por meio de identificação botânica de espécies vegetais.

No geral, para a identificação de espécies utiliza-se os caracteres dos órgãos reprodutivos (flor ou fruto). Entretanto, quando esses não estão presentes, para as espécies arbustivas e arbóreas, pode-se utilizar as folhas e a casca (Martins-da-Silva *et al.*, 2014). Segundo a autora e colaboradores, nestes casos, o uso do padrão foliar, às vezes, é o suficiente para a diferenciação de espécies. Para isso, utiliza-se a descrição de folhas com a arquitetura do limbo foliar, a configuração marginal, os padrões de nervação, o tamanho e posição de estômatos e a posição das glândulas (Hickey, 1973; Alencar, 1998) e sua descrição macroscópica: filotaxia, a presença ou ausência de pecíolo e bainha, a textura, os tipos de base e do ápice, e o formato do limbo (Martins-da-Silva *et al.*, 2014).

Para esse fim, utiliza-se com frequência chaves dicotômicas, que são instrumentos taxonômicos que permitem a distinção com base em um conjunto de caracteres ordenados. Esses caracteres são descritos em uma série de escolhas contrastantes emparelhadas, com uma ou mais informações usadas em cada dicotomia e, assim que escolhida uma opção, é levada para outro conjunto de informações e esse processo é repetido até levar ao nome do grupo taxonômico, podendo ser a espécie, gênero, família ou outra classificação desejada (Wheeler & Bass, 1998). Estas chaves são úteis para a separação de grupos específicos ou quando utilizados para identificação, em trabalhos regionais, de espécies em levantamentos florísticos, pois é possível um maior detalhamento das características, mas essas chaves são limitadas a uma ordem pré-estabelecida (Walter & Winterton, 2007).

Uma opção para facilitar a identificação são as chaves de múltiplo acesso, das quais suas vantagens são: permitir a inserção de novas espécies; o observador utiliza a característica que melhor lhe convém; é possível anexar glossários à chave; não exige um profundo conhecimento dos termos botânicos (Wheeler & Bass, 1998). No entanto, as chaves de múltiplo acesso dificilmente permitem o detalhamento para a separação de espécies que exigem caracteres específicos para a distinção, assim, se faz necessário a criação de chaves auxiliares para grupos menores. E neste caso, o usuário pode utilizar informações mais fáceis de serem visualizadas e disponíveis na amostra, pois não existe uma ordem pré-estabelecida no início da chave (Walter & Winterton, 2007).

Assim como a chave de múltiplo acesso, a chave interativa também permite que o usuário possa escolher qual será a característica utilizada para a identificação de uma amostra.

Um exemplo disso é a chave de identificação eletrônica interativa de madeiras comerciais do Brasil do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) (2020). Em que, é possível identificar 275 espécies arbóreas de uso comercial.

Para que a chave de identificação, tanto interativa quanto de múltiplo acesso, seja mais efetiva Leggett & Kirchoff, (2011) relatam que o uso de imagens ajuda na identificação, por conta da facilidade na comparação de caracteres existentes na amostra. Ainda segundo os mesmos autores e Richter & Trockenbrodt (1996), as chaves devem possuir imagens nítidas e de qualidade, e um glossário bem definido para facilitar a seleção de caracteres.

Com o avanço da tecnologia, as chaves passaram a possuir mais recursos, que visavam facilitar a utilização pelo usuário (ver Leggett & Kirchoff, 2011). Um exemplo, é a chave interativa de múltiplo acesso, criada por Espírito Santo *et al.* (2013), para realizar identificação de espécies do gênero *Tabebuia* (Gomes ex DC), nativas do estado da Bahia, em que é possível selecionar, inclusive, o bioma onde a amostra foi encontrada, o hábito e características morfológicas atreladas as imagens e informações extras para o auxílio da identificação.

Quando os caracteres reprodutivos (flor e fruto) e vegetativos (folha e casca) deixam de existir, no caso de desmatamento ou amostras já em madeiras, a identificação é realizada utilizando a anatomia da madeira (ver Zenid & Ceccantini 2007). Neste sentido, Florsheim *et al.* (2020) utilizaram da anatomia da madeira para a identificação de espécies arbóreas comerciais no livro Identificação Macroscópica de Madeiras comercial do Estado de São Paulo, entretanto, essa chave é dicotômica, e requer um maior conhecimento botânico do usuário.

Para a produção desse tipo de chave de identificação, a descrição da madeira pode ser realizada em uma análise macroscópica, em que se utiliza caracteres observáveis a olho nu ou com o auxílio de uma lente de 10x de aumento. A descrição macroscópica é feita com a análise de características como: arranjo, agrupamento, densidade e diâmetro ou tamanho de vasos; tipo de parênquima axial; e altura, largura e frequência de raios. Essas características são fundamentais para a distinção de indivíduos em uma identificação (Florsheim *et al.*, 2020).

A identificação apenas com caracteres macroscópicos de madeira dificilmente chega à nível de espécie, o que pode limitar a identificação, a nível família ou gênero, entretanto não reduz sua importância, pois características anatômicas visíveis podem ser valiosas para uma identificação sem muito preparo da amostra e com a presença de equipamentos como o microscópio de luz (Wheeler & Bass, 1998; Zenid & Ceccantini, 2007). Entretanto, quando se junta as características de madeira e folhas, tem-se uma chave de múltiplo acesso com a utilização de um menor conjunto de características. Um exemplo disso é a chave de identificação interativa de espécies arbóreas da Serra do Espinhaço em Minas Gerais, de Soares

(2019). O autor fez o uso da ferramenta *Lucid* para a diferenciação de 101 espécies de árvores utilizando anatomia macroscópica da anatomia da madeira e caracteres dendrológicos.

Importante ressaltar que tanto as características da folha quanto as da madeira variam de acordo com o ambiente que a planta estiver inserida (ver Furquim *et al.* 2018; Ferreira *et al.*, 2021). No caso do Cerrado, local caracterizado por ser um bioma que possui épocas com um período de seca acentuado, de baixa umidade e precipitação (Ribeiro & Walter, 2008), é comum observar uma diversidade morfológica nas folhas das espécies arbóreas, como a consistência coriácea, presença de tricomas e até adaptações microscópicas, como presença de estômatos menores com o objetivo de evitar a perda de água durante esses períodos secos (Furquim *et al.*, 2018).

Assim como nas folhas, a anatomia da madeira apresenta ajustes para ambientes mais secos, como maior quantidade de número de vasos de menor diâmetro e maior quantidade de vasos múltiplos (Melo Júnior *et al.*, 2011, Sonsin *et al.* 2012), bem como fibras com paredes mais grossas (Alves & Angyalossy-Alfonso, 2002). O trabalho de Voigt *et al.* (2010) é um exemplo desta variação. Os autores observaram que a madeira do *Caryocar brasiliense* Cambess. (pequizeiro), coletado nas fitofisionomias de cerrado *s.s.* e cerradão apresentaram diferenças anatômicas. As amostras coletadas no cerrado *s.s.*, possui árvores com elementos de vasos mais estreitos e com maior frequência, essa fitofisionomia apresenta características de ambiente secos mais acentuada quando comparada ao cerradão. Essa mesma variação ocorre na *Copaifera langsdorffii* Desf. em solos com diferentes profundidades, pluviosidade e porcentagem de matéria orgânica (Melo Júnio *et al.*, 2011).

Além disso, as espécies desse bioma, podem apresentar cascas mais espessas, tanto para diminuir a troca de água com o ambiente quanto para proteção para a passagem do fogo (Ribeiro & Walter, 2008). Essas características de ambientes mais secos apresentadas pelas plantas estão correlacionadas ao clima do Cerrado, que apresenta uma forte estação seca, aproximadamente entre abril e setembro, com temperaturas que variam de 18 a 28° C, porém, possui uma precipitação anual chegando até 2.000 mm que se concentra nos meses de outubro a março (Dias, 1992). A maior porção do solo é distrófico, com baixo pH, disponibilidade de cálcio e magnésio, uma taxa elevada de alumínio e são bem drenados (Furley & Ratter, 1988). O lençol freático costuma subir nas estações chuvosas e diminui durante a seca, ação que pode comprometer o desenvolvimento de espécies arbóreas em regiões onde o lençol é bastante superficial (Oliveira-Filho & Ratter, 2002). Sendo assim, características como o clima, disponibilidade de água e nutrientes, topografia, composição química e física do solo,

frequências de queimadas e profundidade do lençol freático são fatores que influenciam na vegetação (Eiten, 1994).

As variações causadas na madeira e folhas devido as condições edafoclimáticas devem ser reconhecidas nas chaves de identificação, em que uma mesma característica pode entrar em dois locais da chave. Isso pode ser observado na chave de identificação de Florsheim *et al.* 2020, em que foram analisadas cerca de 5 amostras por indivíduo; e muitas vezes uma dada característica podia ser observada a olho nu em uma amostra da mesma espécie e em outra não.

Porém, mesmo as chaves de identificação que utilizam características anatômicas tanto macroscópicas quanto microscópicas, podem não ser suficiente na diferenciação de espécies, como no caso de espécies do gênero *Dalbergia* L.f., por exemplo, em que Gasson (2011) relatou a necessidade de utilizar outras metodologias para a identificação da madeira a nível de espécie. Uma tecnologia, que está sendo utilizada atualmente, que permite a identificação e auxiliam na discriminação de espécies, é a espectroscopia do infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy - NIRS*) (ver Dormontt *et al.*, 2015).

Para essa finalidade, a interação do infravermelho com a matéria orgânica expressa a forma, proporção, tipo, movimentação e comportamento das moléculas, que por consequência, atinge um nível alto de detalhes para que diferenças não visíveis possam ser demonstradas (Novaes, 2021). Portanto, a refração difusa ou um espectro de absorbância em 800-2500 nm permite uma distinção clara de vários componentes orgânicos, o que permite a essa tecnologia coletar dois tipos bases de dados em comprimento de onda, em que se pode observar a composição química dos componentes da madeira e a diferença de humidade no exemplar analisado (Tsuchikawa *et al.*, 2003). Assim, o NIRS se torna um método de análise não destrutivo que se define pela propriedade da absorção da madeira quando exposta ao infravermelho (Tsuchikawa *et al.*, 2003; Tsuchikawa; Schanninger, 2013).

Diversas pesquisas reportaram o uso de NIRS na identificação da madeira e diferenciação de espécies, como o trabalho de Pastore *et al.* (2011), por exemplo, que relata a facilidade de identificar as espécies *Carapa guianensis* Aubl., *Cedrela odorata* L. e o Curupixá (*Microphollis melinoniana* Pierre) que, por vezes, são comercializadas como sendo ao verdadeiro Mogno (*Swietenia macrophylla* King.).

Ainda, o uso do NIRS mostrou baixo nível de erro quando utilizada com o objetivo de identificação e diferenciação de espécies (Castillo *et al.*, 2008; Pastore *et al.*, 2011; Snel *et al.*, 2017). O uso dessa metodologia também foi observado em um estudo de Muñiz *et al.* (2016) que fez a distinção de espécies comercializadas como “angelim” (*Diploptropis purpurea* (Rich), *Hymenolobium petraeum* Ducke, *Parkia pendula* (Willd.), *Vatairea guianensis* Aubl. e

Vatairea paraenses Ducke), em conjunto a anatomia da madeira e a descrição após a queima para produção de carvão.

Essa metodologia pode ser de interesse para a conservação, pois pode ser utilizada em pequenos pedaços de madeira e até mesmo em folhas, reduzindo o impacto ambiental de estudos de identificação (Castillo *et al.*, 2018). Essa característica é importante para um bioma como o cerrado, que passa por um processo contínuo de degradação.

OBJETIVO GERAL

Elaborar uma chave de múltiplo acesso e interativa baseada na anatomia da madeira e na morfologia externa de folha de 25 espécies de árvore do cerrado. Assim como, utilizar os espectros de infravermelho como um método de discriminação de sete espécies arbóreas de Cerrado.

Objetivos Específicos

- Elaborar uma chave de identificação múltiplo acesso e uma chave de identificação interativa de 25 espécies do cerrado *s.l.* contendo características macroscópicas da anatomia da madeira de ramos e da morfologia externa de folha com o intuito de auxiliar e facilitar a identificação de espécies principalmente em campo;
- Gerar uma base de dados com espectros de sete espécies arbóreas (*Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O.Berg, *Bowdichia virgilioides* Kunth, *Copaifera langsdorffii* Desf., *Dalbergia miscolobium* Benth., *Didymopanax macrocarpus* (Cham. & Schltdl.) Seem., *Machaerium opacum* Vogel e *Ouratea hexasperma* (A.St.-Hil.) Baill.) coletadas com o NIRS de espécies do bioma Cerrado;
- Desenvolver modelos de discriminação das espécies estudadas a partir da aquisição de espectros na secção transversal (lixada e não lixada) e casca, para testar qual seria melhor aquisição de espectro para discriminação das espécies, do local e das fitofisionomias de coleta, juntamente com os dados anatômicos das madeiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, J. D. C. (1998). Identificação botânica de árvores de Floresta Tropical Úmida da Amazônia por meio de computador. *Acta Amazonica*, 28: 3-3.

Alves, E. S. & Angyalossy-Alfonso, V. (2002). Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *IAWA Journal*, 23: 391-418.

Alves, G. B. M., Mendonça, V. M., Martarello, A. P., Pessi, D. D., Vieira, A., & Loverde-Oliveira, S. M. (2020). Análise ambiental do desmatamento em área de assentamento rural no Cerrado (Mato Grosso, Brasil). *Terr@ Plural*, 14: 1-13.

Castillo, R., Contreras, D., Freer, J., Ruiz, J., & Valenzuela, S. (2008). Supervised pattern recognition techniques for classification of *Eucalyptus* species from leaves NIR spectra. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 53: 1709-1713.

Dias, B. F. S., 1992b. Cerrados: uma caracterização. In: Alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. *IBAMA & FUNATURA*, Brasília, Distrito Federal, 11-25.

Dormontt, E. E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E., ... & Lowe, A. J. (2015). Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biological Conservation*, 191: 790-798.

Eiten, G. (1994). Vegetação do cerrado. *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*, 2: 17-73.

Espírito Santo, F. D. S. D., Siqueira, A. A., & Rapini, A. (2013). Chave interativa para a identificação das espécies da Aliança *Tabebuia* (Bignoniaceae) no estado da Bahia, Brasil. *Biota Neotropica*, 13: 345-349.

Ferreira, C. A., Inga, J. G., Vidal, O. D., Goytendia, W. E., Moya, S. M., Centeno, T. B., Vélez, A., Gamarra, D. & Tomazello-Filho, M. (2021). Identification of Tree Species from the Peruvian Tropical Amazon “Selva Central” Forests According to Wood Anatomy. *BioResources*, 16.

Flora do Brasil (2020). URL: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em maio de 2022.

Florsheim, S. M. B.; Ribeiro, A. P.; Longui, E. L.; Andrade, I. M.; Sonsin-Oliveira, J.; Chimelo, J. P.; Soares, R. K.; Gouveia, T. C.; Marques, V. N. (2020) *Identificação Macroscópica de Madeiras Comerciais do Estado de São Paulo*. (1ª edição). São Paulo: Instituto Florestal.

- Furquim, L. C., dos Santos, M. P., de Andrade, C. A. O., de Oliveira, L. A., & Evangelista, A. W. P. (2018). Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. *Científic@-Multidisciplinary Journal*, 5: 146-156.
- Furley, P. A., & Ratter, J. A. (1988). Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. *Journal of Biogeography*, 97-108.
- Gasson, P. (2011). How precise can wood identification be? Wood anatomy's role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA journal*, 32: 137-154.
- Hickey, L. J. (1973). Classification of the architecture of dicotyledonous leaves. *American journal of botany*, 60: 17-33.
- IAWA Committee. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA B*. 10:219-332.
- Leggett, R., & Kirchoff, B. K. (2011). Image use in field guides and identification keys: review and recommendations. *AoB Plants*, 2011: 1-37.
- Levy, M. C., Lopes, A. V., Cohn, A., Larsen, L. G., & Thompson, S. E. (2018). Land use change increases streamflow across the arc of deforestation in Brazil. *Geophysical Research Letters*, 45: 3520-3530.
- Malhi, Y., Gardner, T. A., Goldsmith, G. R., Silman, M. R., & Zelazowski, P. (2014). Tropical forests in the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 39: 125-159.
- MapBiomas (2023). URL: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em agosto de 2023.
- Martins-Da-Silva, R. C. V.; Silva, A. S. L. da; Fernandes, M. M., & Margalho, L. F. (2014). Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica. *Embrapa Amazônia Oriental- Livro científico (ALICE)*.
- Melo Júnior, J. C. F., Ceccantini, G., & Bona, C. (2011). Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro. *Iheringia, Série Botânica*, 66: 189-200.
- Medeiros, M. B. D., & Miranda, H. S. (2005). Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta Botanica Brasilica*, 19: 493-500.

- Mittermeier, R. A., Myers, N., Mittermeier, C. G., & Robles Gil, P. (1999). *Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX, SA, Agrupación Sierra Madre, SC.
- Muñiz, G. I. B., Carneiro, M. E., Ribeiro Batista, F. R., Zatt Schardosin, F., & Nisgoski, S. (2016). Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as “angelim” by Near-IR and wood anatomy. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18: 505-522.
- Novaes, T.V., (2021). Espectroscopia no infravermelho-próximo (NIR) para discriminar espécies florestais produtoras de madeira da Amazônia. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará.
- Oliveira-Filho, A. T., & Ratter, J. A. (2002). 6. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In *The cerrados of Brazil*. Columbia University Press, 91-120.
- Pastore, T. C. M., Braga, J. W. B., Coradin, V. T. R., Magalhães, W. L. E., Okino, E. Y. A., Camargos, J. A. A. & Davrieux, F. (2011). Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: Discrimination of true mahogany, cedar, andiroba, and curupixá. *Holzforschung*, 65: 73-80.
- Pittermann, J., Stuart, S. A., Dawson, T. E., & Moreau, A. (2012). Cenozoic climate change shaped the evolutionary ecophysiology of the Cupressaceae conifers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109: 9647-9652.
- Ratter, J. A., Ribeiro, J. F., & Bridgewater, S. (1997). The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of botany*, 80: 223-230.
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *Cerrado: ecologia e flora*, 1: 151-212.
- Richter, H. G., & Trockenbrodt, M. (1996). Computer-aided wood identification with DELTA/INTKEY-a demonstration. *IAWA Journal*, 17:262.
- Sartorelli, P. A. R., & Campos Filho, E. M. (2017). *Guia de plantas da regeneração natural do Cerrado e da Mata Atlântica*. São Paulo: Agroicone.
- Schmidt, I. B., & Eloy, L. (2020). Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora*, 268: 151613.

- Snel, F. A., Braga, J. W., da Silva, D., Wiedenhoeft, A. C., Costa, A., Soares, R., ... & Pastore, T. (2018). Potential field deployable NIRS identification of seven *Dalbergia* species listed by CITES. *Wood Science and Technology*, 52: 1411-1427.
- Spicer, R. A., & Chapman, J. L. (1990). Climate change and the evolution of high-latitude terrestrial vegetation and floras. *Trends in ecology & evolution*, 5: 279-284.
- Sonsin, J. O., Gasson, P. E., Barros, C. F., & Marcati, C. R. (2012). A comparison of the wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado *ss* and adjacent gallery forest). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 170: 257-276.
- Souza, C. L. F., de Oliveira, R. B., Mustafé, D. N., Nunes, K. A. C., & de Moraes, E. M. B. (2019). O cerrado como o “berço das águas”: potencialidades para a educação geográfica. *Revista Cerrados (Unimontes)*, 17: 86-113.
- Stone, P., Page, V. M., Hamilton, W., & Howard, K. A. (1987). Cretaceous age of the upper part of the McCoy Mountains Formation, southeastern California and southwestern Arizona, and its tectonic significance: Reconciliation of paleobotanical and paleomagnetic evidence. *Geology*, 15: 561-564.
- Tsuchikawa, S., Inoue, K., Noma, J., & Hayashi, K. (2003). Application of near-infrared spectroscopy to wood discrimination. *Journal of Wood Science*, 49: 0029-0035.
- Tsuchikawa, S., & Schwanninger, M. (2013). A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part 2). *Applied Spectroscopy Reviews*, 48: 560-587.
- Wheeler, E. A., & Baas, P. (1991). A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. *IAWA journal*, 12: 275-372.
- Wheeler, E. A., & Baas, P. (1998). Wood identification-a review. *IAWA journal*, 19: 241-264.
- Walter, D. E., & Winterton, S. (2007). Keys and the crisis in taxonomy: extinction or reinvention? *Annual Review of Entomology*, 52: 193-208.
- Zenid, G. J., & Ceccantini, G. C. (2007). Identificação macroscópica de madeiras. *São Paulo: IPT*.

CAPÍTULO 1 - Chave de identificação de múltiplo acesso com caracteres vegetativos de madeira e folhas de ramos de espécies do Cerrado *s.l.*

Ana Gabriela Pinheiro de Souza^{1*}, Christopher W. Fagg¹, Júlia Sonsin-Oliveira¹

¹Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas – Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF 70919-900, Brazil

Ana Gabriela Pinheiro de Souza - <https://orcid.org/0000-0001-8682-3056>

Christopher W. Fagg - <https://orcid.org/0000-0001-6072-7832>

Júlia Sonsin-Oliveira - <https://orcid.org/0000-0002-4905-8145>

Capítulo escrito de acordo com os padrões da revista *Brazilian Journal of Botany*

Chave de identificação de múltiplo acesso com caracteres vegetativos de madeira e folhas de ramos de espécies do Cerrado *s.l.*

Ana Gabriela Pinheiro de Souza^{1*}, Christopher W. Fagg¹, Júlia Sonsin-Oliveira¹

¹Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas – Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF 70919-900, Brazil

Ana Gabriela Pinheiro de Souza - <https://orcid.org/0000-0001-8682-3056>

Christopher W. Fagg - <https://orcid.org/0000-0001-6072-7832>

Júlia Sonsin-Oliveira - <https://orcid.org/0000-0002-4905-8145>

*Autor correspondente: ana.pinheirounb@gmail.com

RESUMO

A identificação de espécies vegetais ocorre majoritariamente por chaves de identificação dicotômicas com caracteres reprodutivos como flores e frutos. Essas chaves podem exigir alto nível de conhecimento botânico pelo seu detalhamento. Já nas chaves de múltiplo acesso, a identificação acontece com um menor número de características. Porém, os órgãos reprodutivos nem sempre estão presentes para a identificação, sendo preciso utilizar os caracteres vegetativos, madeira e folha. Portanto, este trabalho tem como objetivo a criação de uma chave de identificação de múltiplo acesso e uma chave interativa com características anatômicas macroscópicas de madeira e folha para distinguir 25 espécies de árvore do Cerrado. Além disso, foi verificado se estão presentes na madeira e folha as características ditas como xeromórficas. Para a descrição das folhas foram utilizadas características macroscópicas da morfologia externa, e para a madeira, foi realizada uma descrição macroscópica qualitativa e quantitativa. Foram criadas duas chaves, uma de múltiplo acesso e outra interativa. Para a chave de múltiplo acesso foi criada uma chave complementar para as espécies do gênero *Kielmeyera*, pois não foi possível separá-las dentro da chave com outras espécies. As chaves oferecem uma ferramenta prática e rápida para a identificação de espécies arbóreas do Cerrado, pois ambas podem ser utilizadas em campo, o que pode ter implicações importantes para a conservação e o manejo dessas áreas naturais. Observou-se que as plantas estão mais adaptadas a um ambiente mais seco, por apresentarem folhas com consistência coriácea e presença de tricomas e madeiras com a alta densidade de vasos de menor diâmetro.

Palavras-chave: anatomia da madeira; cerrado *s.s.*; identificação; morfologia externa da folha; xilema secundário.

INTRODUÇÃO

O Cerrado possui um período de seca intensa e prolongada dos meses de maio a agosto (Dias, 1992). Logo, indivíduos vegetais tiveram que se adaptar aos períodos de seca e eventuais queimadas. Por conta disso, é possível observar características de ambiente mais secos nas folhas e madeiras das árvores. Outra diferença é que as espécies de árvores são baixas quando comparadas às espécies que estão em outros biomas (Ruggiero et al. 2002). Isso pode ocorrer devido à presença em alta concentração de alumínio do solo (Furley & Ratter, 1988; Ruggiero et al. 2002), variação na disponibilidade de água, mais presente no solo (Oliveira-Filho & Ratter 2002), e regime de fogo (Rodriguez-Cubillo et al. 2021).

É interessante observar que no cerrado, as coletas são realizadas mais facilmente devido à altura das árvores, que é considerada baixa quando comparadas às plantas que ocorrem em áreas de mata ou florestas, por exemplo. Entretanto, a identificação pode não acontecer com facilidade, pois esse é um bioma com cerca de 12 mil espécies vegetais, sendo 1800 de porte arbóreo (Flora do Brasil 2023).

A identificação correta de uma espécie é fundamental para o desenvolvimento científico, isso ocorre porque seus órgãos vegetativos, como folhas, casca e madeira, e seus órgão reprodutivos, como frutos e flores, são de interesse de diversas vertentes científicas e sociais (Martins-da-Silva et al. 2014). Um exemplo que corrobora essa importância, pode ser demonstrado por um levantamento florestal, em que se faz necessário saber quais são espécies que compõe uma determinada área (ver Procópio & Secco 2008). Outro exemplo, é o acompanhamento da regeneração natural de áreas degradadas, pois que se deve fazer um diagnóstico ambiental para identificar as espécies arbustivas e arbóreas que estão constituindo e crescendo na área observada (Sartonelli & Campos Filho 2017).

No campo, para a distinção de espécies arbóreas por exemplo, é comum que a identificação ocorra com a utilização caracteres vegetativos, como folhas e morfologia externa da casca, pois muitas vezes as espécies não estão na época de floração ou frutificação (Martins-da-Silva et al. 2014). Para isso, são realizadas análises macroscópicas da folha, ou seja, características que são passíveis de observação com lupas ou até a olho nu. Durante a análise do padrão foliar, por exemplo, podem ser observadas características da arquitetura da folha, dos padrões de nervação, a configuração marginal, o formato e a posição de glândulas, o que pode levar a identificação de plantas a nível de espécie (Hickey 1973; Alencar 1998; (Martins-da-Silva et al. 2014). Adicionalmente, existem diversas famílias com folhas que possuem

padrões consistentes e arquiteturas reconhecíveis e que podem ser utilizadas para determinar diferentes grupos em uma identificação (Martins-da-Silva et al. 2014).

Entretanto, nem sempre é possível realizar essa identificação em campo. Logo, é necessário recorrer a uma análise detalhada, como ocorreu no trabalho de Pessoa et al. (2019) estudando o gênero *Qualea* Aubl. de uma área de transição entre Cerrado e Amazônia, por exemplo. Os autores realizaram a identificação, separando três espécies desse gênero, utilizando uma análise microscópica. Eles ainda observaram características xeromórficas (ambiente com longo período de seca intensa) das folhas do gênero, como: cutícula espessa, posição dos estômatos e grande quantidade de tricomas.

É possível realizar a identificação utilizando a anatomia da madeira. Entretanto, na identificação macroscópica, dificilmente se chega à nível espécie, normalmente ela se limita a determinação de família ou gênero, pois durante essas análises a quantidade de caracteres disponíveis é menor do que em uma análise microscópica (Wheeler & Bass 1998). E, apesar da análise microscópica ter uma maior quantidade de caracteres informativos (Wheeler & Bass 1998), as amostras devem ser preparadas e processadas em um laboratório (Florsheim et al. 2020), o que torna esse processo demorado em comparação a análise macroscópica.

As características que são essenciais para a identificação de uma madeira, e são possíveis de serem observadas macroscopicamente são as relacionadas aos vasos (arranjo, agrupamento, densidade, entre outros), parênquima axial (tipo) e radial (altura e largura) (Florsheim et al. 2020). Outras características que são comumente utilizadas, mas não recomendadas, pois servem somente para auxiliarem a identificação são as sensoriais, como odor, textura, peso, dureza, sabor e cor da madeira (Zenid & Ceccantini 2007). Entretanto, para a análise dos ramos, algumas dessas últimas características não podem ser utilizadas.

Contudo, o tempo gasto com análises microscópicas tanto de folhas quanto de madeira é maior quando comparado às macroscópicas. Portanto, uma alternativa para a identificação de espécies arbóreas utilizando somente caracteres vegetativos em campo, seria a utilização da anatomia macroscópica da madeira junto às características morfológicas externas da folha.

Para chegar à identificação de uma determinada espécie, tanto com características de folhas ou madeira, são utilizadas chaves de identificação. Em sua maioria, na identificação botânica são utilizadas as chaves dicotômicas, essas possuem duas características pareadas que leva a outro par até a conclusão da identificação (Wheeler & Bass 1998). Segundo os mesmos autores, o emprego desse tipo de chave possibilita uma descrição detalhada de uma característica que permite distinguir diferentes espécies. Entretanto, uma desvantagem associada a esse tipo de chave é que o uso de terminologias botânicas específicas pode tornar

difícil a identificação para aqueles que não estão familiarizados com a nomenclatura utilizada (Walter & Winterton 2007).

Uma ferramenta que tem facilitado a identificação botânica são as chaves de múltiplo acesso. Um exemplo deste tipo de chave são as possuem uma matriz de dados com as características da folha ou da madeira, em que na primeira linha e coluna são utilizadas as características dos órgãos e as espécies ficam na intersecção das características as descrevem (ver Edwards & Morse 1995; Timberlake et al. 1999). Entretanto, quando possuem uma diversidade de espécies muito alta, a identificação a nível espécies pode não ser possível, por não ter o nível de detalhamento que a chave dicotômica proporciona, mas elas podem ser divididas em chaves auxiliares.

Por outro lado, existem as chaves interativas, que é quando há a possibilidade de o usuário selecionar um caractere em qualquer ordem (Dallwitz 2002). A vantagem é que o usuário pode escolher as características a serem utilizadas, não necessitando conhecimento aprofundado da nomenclatura botânica. Entretanto, ao escolher uma dada característica erroneamente, ele pode excluir automaticamente a espécie a ser identificada. Ao utilizar-se em conjunto características de madeira e folha é diminuída a necessidade de um conhecimento profundo sobre os temas, pois pode-se utilizar uma menor quantidade de características para realizar a identificação em campo.

Entretanto, um problema que ainda persiste na identificação de plantas é que existem regiões no Brasil que possuem poucas ou nenhuma chave de identificação de espécies arbóreas feitas com o uso de caracteres vegetativos, como a madeira. Esse é o caso do Cerrado, em que existem chaves dendrológicas utilizadas para identificação de espécies (Batalha et al. 1998; Silva Júnior 2012; Cândido et al., 2019; Verly et al. 2021), porém, não foram encontradas na literatura chaves de identificação, tanto dicotômicas quanto de múltiplo acesso ou interativas que usem em conjunto as características de folha e madeira de árvores deste bioma.

Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo a criação de uma chave de identificação de múltiplo acesso e outra interativa com caracteres anatômicos macroscópicos de madeira e folha que possibilitam a distinção de 25 espécies de árvores encontradas em três diferentes áreas de Cerrado *s.l.*, com o intuito de auxiliar e facilitar a identificação de espécies, principalmente em campo. Além disso, foi verificado se estão presentes na madeira e folha as características de espécies de ambientes com longos períodos de seca.

MATERIAIS E MÉTODOS

Áreas e coleta de amostras

As amostras de madeira dos ramos foram coletadas em três regiões Cerrado *s.l.* (Fig. 1): na Fazenda Água Limpa, Universidade de Brasília - FAL – UnB (-15.948042, -47.934215); na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (-15.947867, -47.878507) localizadas em Brasília, Distrito Federal; e em uma área particular situada próxima ao município de Cocalzinho, Goiás (-15.785564, -48.552602). As coletadas foram inseridas no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SISGEN) com o número de remessa RB2301F por fazer parte do patrimônio nacional genético.



Fig. 1 Localização das três áreas de coleta de Cerrado *s.l.* A. Fazenda Água Limpa (FAL – UnB), círculo vermelho e Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), círculo amarelo; e B. área particular em Cocalzinho – Goiás, círculo azul.

Foram coletados ramos de espécies previamente selecionadas com a análise do levantamento florístico da região realizado por Almeida et al. (2014), priorizando espécies com um alto Índice de Valor de Importância (IVI), que significa a relevância ecológica daquela espécie (Tabela 1). As saídas de campo para a coleta das amostras ocorreram nos meses de julho a setembro dos anos 2021 e 2022, meses correspondentes ao período de seca.

Os ramos foram coletados tendo como prioridade aqueles que possuíam quatro centímetros de diâmetro, podendo ser menor (3,5 cm) caso a coleta pudesse causar algum impacto negativo à árvore. Para a coleta foram utilizados podão, serrote ou serra de corrente, dependendo da dureza da madeira e altura da árvore. No total, foram coletadas aproximadamente três amostras para cada espécie, de 25 espécies de árvores do Cerrado pertencentes à 12 famílias. Também foram obtidas amostras de diferentes espécies que estão na coleção da Xiloteca da Universidade de Brasília (UBw), totalizando, com as amostras coletadas 75 amostras.

A identificação das espécies ocorreu após a coleta com o uso das chaves de identificação encontradas no livro 100 árvores do Cerrado (Silva Júnior 2012), e com a orientação do professor Christopher W. Fagg. Todas as amostras foram depositadas na xiloteca UBw e no Herbário da UnB (UB). Os *vouchers* das exsicatas estão no Informação suplementar I.

Tabela 1 Relação de espécies coletadas no Cerrado *s.l.* com nome popular de acordo com Silva Júnior (2014). UBw = n° de tombo na coleção de madeira na Universidade de Brasília.

Família	Espécie	UBw	Nome popular
Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i> (Cham. & Schltdl.) Seem.	1126, 1138, 1190	mandiocão-do-cerrado
Bignoniaceae	<i>Cybistax antisyhilitica</i> (Mart.) Mart.	1085, 1166	ipê-verde
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	1112, 1164, 1223	pau-santo
	<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil	1142, 1148, 1156	pau-santo
Combretaceae	<i>Terminalia argentea</i> Mart. & Zucc	1127, 1143	capitão-do-mato
Euphorbiaceae	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	1145, 1160	casculo, casculinho
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	1083, 1084, 1086	sucupira-preta
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	1122, 1200, 1208	Copaíba
	<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	1111, 1236, 1237	jacarandá-do-cerrado

	<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F Macbr.	1113, 1165	orelha-de-macaco
	<i>Hymenaea stagnocarpa</i> Mart. Ex Hayne	1161, 1173, 1243	Jatobá
	<i>Machaerium opacum</i> Vogel	1114, 1116, 1189	jacarandá-cascudo
	<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	704, 1157	Sucupira
	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	1110, 1131	Barbatimão
	<i>Tachigali aurea</i> Tul.	1120, 1183, 1245	pau-bosta
	<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	1185, 1186, 1222	Carvoeiro
Malvaceae	<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart.) Schott & Endl.	1081, 1082, 1139	paineira-do-cerrado
Melastomataceae	<i>Miconia burchellii</i> Triana	1106, 1140, 1158	Pixirica
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	1149, 1242	maria-preta
Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	1187, 1188, 1241	vassoura-de-bruxa
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> Aubl.	1103, 1153, 1155	carne-de-vaca
	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	1246, 1247, 1248	pau-terra-grande
	<i>Qualea multiflora</i> Mart.	1108, 1109, 1147	pau-terra-liso
	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	755, 833	pau-terra-roxo
	<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	1102, 1146, 1159	Gomeira

Tratamento, análises e descrição foliar

Após a coleta dos ramos, as folhas foram prensadas e secas para a produção de exsicatas. Também foi observada a folha *in loco*, e obtidas imagens, para que os caracteres adicionados na chave de identificação se assemelhem a aqueles encontrados em campo. A descrição do padrão foliar foi baseada em Vidal & Vidal (1984) e Silva Júnior et al. (2014). As seguintes características foram analisadas: folhas – simples ou composta (tipo de folha composta); filotaxia; forma; ápice; base; margem; consistência; presença de tricomas ou “pelos”; peciolada ou séssil; nervura; odor característico; e presença de glândulas na folha ou pecíolo.

Tratamento, análises e descrição da madeira

Para a análise macroscópica da madeira, as amostras foram serradas com serra de fita e com o serrote para deixá-las no tamanho adequado para facilitar tanto o polimento quanto para a produção das imagens. Na secção transversal, os ramos foram polidos com uma lixa grossa (200 grãos) para o nivelamento da amostra, e em sequência por lixas finas (400, 600 grãos) na lixadeira de bancada, além de polidas manualmente em gramaturas de 800 e 1000 grãos. Ao final, para um melhor acabamento e visualização das estruturas anatômicas, foi utilizado a lixa d'água gramatura 1.200 grãos e, quando necessário, gramatura 1.500 grãos. Após cada passagem da lixa, as amostras foram escovadas com o objetivo de tirar resíduo de serragem dos vasos e demais estruturas.

Para a análise da secção longitudinal tangencial, um pedaço da casca mais um pouco da madeira foi removido com a ajuda de um formão e martelo, depois foi passado o estilete e lâmina de barbear para um melhor acabamento. Esse protocolo foi adaptado do procedimento realizado por Florsheim et al. (2020) no livro “Identificação macroscópica de madeiras comerciais do estado de São Paulo”, em que foi utilizado um estilete em vez de uma faca de corte, por conta do tamanho das amostras e facilidade no manuseio.

A produção das imagens no transversal ocorreu com o estereomicroscópio e uma câmera digital da marca Leica EZ4 D (sistema de captura de imagens LAS EZ), nos aumentos de 10x e 20x, que está localizado no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), no IBAMA. Também foi utilizado a lupa portátil Dino-lite/1.3MP AF4515 *Series* no Laboratório de Anatomia Vegetal da UnB, emprestado pelo LPF, para obtenção das imagens no transversal e longitudinal tangencial.

As descrições e medições foram baseadas em Florsheim et al. (2020), porém foram adaptadas por se tratar de ramos e, conseqüentemente, de tamanho menor do que madeiras de caule principal. Sendo assim, foi utilizada para a medição da densidade dos vasos quatro milímetros quadrados (mm^2) em vez de 10 mm^2 . Raios em 1 mm ao invés de 5 mm. E, foi considerado vasos predominantemente solitários, acima de 70%, baseada na chave de identificação interativa do LPF.

As análises quantitativas das amostras foram realizadas no software *Image-Pro Plus* (6.0) e foram mensuradas com base nas imagens obtidas. Foram realizadas 30 medições para cada característica anatômica macroscópica quantitativas da madeira como segue: o diâmetro dos elementos de vasos em milímetros (DiV) e densidade de vasos por 4 mm^2 (V 4 mm^2); frequência de raios por milímetro (R mm^{-1}) e largura de raio (RW) (todos realizados no plano transversal); e altura de raio (RH) no plano tangencial. Com a finalidade de verificar o mínimo

necessário de medições para a análise da altura dos raios, foi atribuído as fórmulas de Freese (1967) e Eckblad (1991).

Os dados qualitativos descritos foram: camadas de crescimento; porosidade; arranjo de vasos; presença de depósitos nos vasos; tipo de parênquima axial; estratificação de raio; e visibilidade de vasos, parênquima e raios a olho nu ou somente sob lente.

Produção da Chave de múltiplo acesso

A chave de múltiplo acesso foi baseada em características anatômicas da madeira que são possíveis de observar com o auxílio de uma lupa-conta fios (aumento de 10x) e da morfologia externa da folha, a fim de facilitar a identificação das espécies em campo.

Foram produzidas duas chaves de identificação, uma de múltiplo acesso e outra interativa, utilizando uma matriz de características com o programa *Excel*. A primeira matriz, utilizada na chave de múltiplo acesso, apresenta caracteres da madeira, que estão no eixo lateral, enquanto os de folha estão no eixo superior. Sendo assim, quando o indivíduo possuir os caracteres presentes na chave, a espécie (ou grupo) estará na intersecção da linha e coluna. A segunda chave, é uma versão interativa, com filtros para selecionar as características presentes na amostra analisada. As espécies ficam alinhadas na primeira coluna a esquerda e as características de madeira e folha na primeira linha. Por exemplo: assim que selecionada uma característica qualquer, as espécies que não a possuem são excluídas. O ‘x’ representa que a característica está presente, e ‘o’ significa que pode ocorrer em menor frequência. Fotos de imagens da madeira e da folha são utilizadas para exemplificar/ilustrar as características na hora da identificação e estão ao longo do texto. As duas matrizes tiveram como base o Guia de Campo de Timberlake et al. (1999). No caso de grupos taxonômicos que exigem mais detalhes para a separação, foi criada uma chave alternativa para a identificação das espécies do gênero.

A chave será disponibilizada como Informação suplementar na submissão do artigo e no site da Fazenda Água Limpa – UnB, para que pesquisadores e estudantes possam ter livre acesso.

RESULTADOS

Descrição macroscópica das folhas e madeiras

As descrições das folhas estão apresentadas na Tabela 2, e a descrição macroscópica da madeira dos ramos pode ser encontrada na Tabela 3, visando facilitar na comparação entre as características das 25 espécies. As espécies se encontram em ordem alfabética por família. A descrição completa das folhas e da madeira está no Informação suplementar II.

As figuras contendo a exsicata, a árvore *in loco*, a madeira do ramo no plano transversal e no plano tangencial estão nas Fig. 2 a 26.

Foi produzida uma chave de múltiplo acesso (Tabela 4) e uma chave interativa (Tabela 6). No caso do gênero *Kielmeyera* (apresenta com a letra *K.* na Tabela 4) foi criada uma chave auxiliar (Tabela 5) para identificação das duas espécies: *K. coriacea* e *K. speciosa*. Caso seja necessário, nas intersecções que apresentam mais de uma espécie, deve-se realizar a comparação com as Fig. e descrição para cada espécie disponíveis nas Fig. 2 a 26. Recomenda-se que para a identificação, faça uso de ramos de árvores adultas e sem muitas alterações morfológicas.

Tabela 2 Descrição das espécies por características da folha. O símbolo ‘x’ indica que a característica está sempre presente, enquanto ‘o’ significa que pode ou não ser encontrada ou com pouca frequência.

Espécies / Característica da folha		<i>D. macrocarpus</i>	<i>C. antisiphilitica</i>	<i>K. coriacea</i>	<i>K. speciosa</i>	<i>T. argentea</i>	<i>M. guianensis</i>	<i>B. virgilioides</i>	<i>C. langsdorffii</i>	<i>D. miscolobium</i>	<i>E. gummiferum</i>	<i>H. stigonocarpa</i>	<i>M. opacum</i>	<i>P. pubescens</i>
Simples				x	x	x	x							
Composta	Digitada	x	x											
	Bifoliolada											x		
	Pinada	Paripinada							x		x			x
		Imparipinada						x		x			x	
	Bipinada	Paribipinada									x			
Filotaxia	Alternata	Dística					x		x					
		Espiralada	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x
	Oposta	Dística												
		Cruzada		x										
	Verticilada													
Forma	Elíptica	x	x	x	x	x				x	x	x	x	
	Estreita													
	Lanceolada													
	Oblonga							x	x		x			x
	Obovada	x												
	Ovada					x	x					x	x	
Ápice	Acuminado		x			x	x							
	Agudo					x	x					x	x	
	Apiculado		x											
	Arredondado			x	x				x	x		x		
	Atenuado													
	Caudado													
	Obtuso							x	x	x				
	Retuso	x		x	x				x		x			x
	Truncado	x							o					
Base	Aguda			x	x	x								
	Arredondada						x	x	x		x			x
	Assimétrica	x							x		x	x		
	Cordada									x			x	
	Cuneada	x	x			x								
	Decurrente		x											
	Revoluta													

Espécies / Característica da folha		<i>D. macrocarpus</i>	<i>C. antisyphilitica</i>	<i>K. coriacea</i>	<i>K. speciosa</i>	<i>T. argentea</i>	<i>M. guianensis</i>	<i>B. virgilioides</i>	<i>C. langsdorffii</i>	<i>D. miscolobium</i>	<i>E. gummiferum</i>	<i>H. stigonocarpa</i>	<i>M. opacum</i>	<i>P. pubescens</i>
	Obtusa			x	x	x		x		x	x			
	Truncada													
Margem	Ciliada					x								
	Crenada													
	Dentada													
	Inteira	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Onduladas	x	o	o	o	x	o		o			o	o	
	Revolutas													
Nervura	Acródroma													
	Broquidódroma	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Camptódroma													
	Pinada	x												
	Reticulódroma								o					
	Coletora													
Consistência	Cartácea		x											
	Coriácea	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pilosidade	Presente	x	x	x	x	x		x				x	x	x
Pecíolo	Peciolada	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Outras características	Discolores	x		x	x	x	x	x				x	x	x
	Glândula na folha/folíolo						x		x					
	Glândula no pecíolo					x					x			
	Odor													
	Gotículas translúcidas								x					x
	Exsudação			x	x		x		x					

Tabela 2 Continuação.

Espécies / Característica da folha		<i>S. adstringens</i>	<i>T. aurea</i>	<i>T. subvelutina</i>	<i>E. pubescens</i>	<i>M. burchellii</i>	<i>B salicifolius</i>	<i>O. hexasperma</i>	<i>R. montana</i>	<i>Q. grandiflora</i>	<i>Q. multiflora</i>	<i>Q. parviflora</i>	<i>V. thyrsoidea</i>
Simples						x	x	x	x	x	x	x	x
Composta	Digitada				x								
	Bifoliolada		x	x									
	Pinada	Paripinada											
		Imparipinada	x										
Bipinada	Paribipinada												
Filotaxia	Alternata	Dística						x					
		Espiralada	x	x	x	x		o	x				
	Oposta	Dística					x			x	x	x	
		Cruzada					x						
	Verticilada									o	o	x	x
Forma	Elíptica	x			x	x	x		x	x	x	x	x
	Estreita												
	Lanceolada		o					x					
	Oblonga									x	x	x	
	Obovada				x								x
	Ovada		x	x		x		x					
Ápice	Acuminado		x	x		x			x		x	x	
	Agudo		x			x	x	x	x	x	x	o	
	Apiculado	x			x								
	Arredondado												
	Atenuado					x	x	x					
	Caudado			x									
	Obtuso												
	Retuso				x					x			x
	Truncado												
Base	Aguda				x			x	x		x	x	x
	Arredondada	x				x	x				x		
	Assimétrica												
	Cordada												
	Cuneada				x								
	Decurrente	x					x					x	
	Revoluta												x
	Obtusa	x					x					x	

Espécies / Característica da folha		<i>S. adstringens</i>	<i>T. aurea</i>	<i>T. subvelutina</i>	<i>E. pubescens</i>	<i>M. burchellii</i>	<i>B. salicifolius</i>	<i>O. hexasperma</i>	<i>R. montana</i>	<i>Q. grandiflora</i>	<i>Q. multiflora</i>	<i>Q. parviflora</i>	<i>V. thyrsoidea</i>
	Truncada		x	x		x				x			
Margem	Ciliada												
	Crenada					x							
	Dentada								x				
	Inteira	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
	Onduladas	o	x	x	o	x	o	x	x	x	o	o	
	Revolutas												x
Nervura	Acródroma					x							
	Broquidódroma	x			x		x		x	x	x	x	x
	Camptódroma		x	x				x					
	Pinada										o		
	Reticulódroma												
	Coletora						x			x	x	x	
Consistência	Cartácea						x						
	Coriácea	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Pilosidade	Presente		x	x	x	x		x	x	x	x		
Pecíolo	Peciolada	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Outras características	Discolores	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
	Glândula na folha/folíolo												x
	Glândula no pecíolo	x								x	x	x	
	Odor						x		x				
	Gotículas translúcidas						x						
	Exsudação	x	x	x			x						x

Tabela 3 Descrição das espécies por características da folha. O símbolo ‘x’ indica que a característica está sempre presente, enquanto ‘o’ significa que pode ser encontrada com pouca frequência. CC = camadas de crescimento; >DiV = maior diâmetro de vasos; S = solitário; M = múltiplo.

Espécies / Características anatômicas da madeira		<i>Didymopanax macrocarpus</i>	<i>Cybistax antisiphilitica</i>	<i>Kielmeyera coriacea</i>	<i>Kielmeyera speciosa</i>	<i>Terminalia argentea</i>	<i>Maprounea guianensis</i>	<i>Bowdichia virgilioides</i>	<i>Copaifera langsdorffii</i>	<i>Dalbergia miscolobium</i>	<i>Enterolobium gummiferum</i>	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	<i>Machaerium opacum</i>	<i>Pterodon pubescens</i>	
CC	Demarcada por	Faixa/linha marginal		x	x				x	x	x	x	o	x	
		Zona fibrosa	x		x	x	x	x		x				o	
		> DiVCC		o	x	x									
Vasos	Visível a olho nu				x	x				x	o	x	o	x	x
	Visível somente sob lente		x	x			x	x	x	o	x		x	o	x
	Porosidade	Difusa	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Arranjo	Faixas tangenciais												
	Arranjo	Diagonal/radial	o												
		Sem arranjo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Agrupamento	S > 70%		x										x
	S e M		x		x	x	x	x	o	x	x	x	x		x
	M > 70%								x						
	Diâmetro	Pequeno (< 50)													
		Médios (51 - 100)	x	x	x	x	x	x	x				o		
		Grande (101 - 200)				o				x	x	x	x	x	x
	Tiloses	Presentes			x	x	x	x	x	x					
	Depósitos	Esbranquiçado				x	x		x	x	x		x	x	x
		Alaranjado									x			x	x
Enegrecido													x		
Parênquima axial	Visível a olho nu			o			x		x	o	x	x	o	x	
	Visível somente sob lente		x	x	x	x		x		x	x		x		
	Indistinto sob lente														
	Apotraqueal	Difuso						3							
		Difuso-em-agregados					6						6		
	Paratraqueal	Escasso	1					4		3					
		Vasicêntrico			4	3	5		8	1	6	3	4	8	5
		Aliforme losangular		4			4		5	2	5	1	2	4	3
		Aliforme linear			1	1		2	7		1			1	
		Confluente curto		2		2	1		1			2	3	3	4
Confluente longo			1			2		2		3	4		5	1	

Espécies / Características anatómicas da madeira		<i>Didymopanax macrocarpus</i>	<i>Cybistax antisyphilitica</i>	<i>Kielmeyera coriacea</i>	<i>Kielmeyera speciosa</i>	<i>Terminalia argentea</i>	<i>Maprounea guianensis</i>	<i>Bowdichia virgilioides</i>	<i>Copaifera langsdorffii</i>	<i>Dalbergia miscolobium</i>	<i>Enterolobium gummiferum</i>	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	<i>Machaerium opacum</i>	<i>Pterodon pubescens</i>	
				3				6					7		
Em faixas	Unilateral			3				6					7		
	Linhas				2		1			2			2		
	Faixas		3			3		3		4	5	4		2	
	Escalariforme														
	Faixa/linha marginal			2					4	4	7		1	9	6
Raios	Visível a olho nu		x	x								x			
	Visível somente sob lente				x	x	x	x	x	x	x		x	x	
	Indistinto sob lente				o	o									
	Largura (Tr)	Extremamente fino (≤ 15)													
		Muito fino (15 - 30)			x	x	x	x	x		x	x			
		Fino (30 - 50)		x						x				x	x
		Estreito (51 - 100)											x		
		Largo (> 100)													
	Frequência de raios/mm (Tr)	Muito poucos (< 25)													
		Poucos (26 - 50)	x	x		x			x	x			x	x	x
		Numerosos (51 - 80)			x		x	x			x	x			
	Altura (tg)	Baixos (< 100)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Altos (> 100)													
Estrutura estratificada	Regular		x							x			x		
	Irregular								x						
ES	Canais	Axiais							x						
		Radiais	x												
		Traumáticos					o								

Tabela 3 Continuação.

Espécies / Características anatômicas da madeira		<i>Stryphnodendron adstringens</i>	<i>Tachigali aurea</i>	<i>Tachigali subvelutina</i>	<i>Eriotheca pubescens</i>	<i>Miconia burchellii</i>	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	<i>Ouratea hexasperma</i>	<i>Roupala montana</i>	<i>Qualea grandiflora</i>	<i>Qualea multiflora</i>	<i>Qualea parviflora</i>	<i>Vochysia thyrsoidea</i>	
CC	Demarcada por	Faixa/linha marginal	x											
		Zona fibrosa	x	x	x	x	x	x	x		x	o	x	x
		> DiVCC												
Vasos	Visível a olho nu		x		o	x							x	
	Visível somente sob lente			x	x		x	x	x	x	x	x	x	
	Porosidade	Difusa	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Arranjo	Faixas tangenciais								x			
	Diagonal/radial						o							
	Sem arranjo		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
	Agrupamento	S > 70%		x		x		x	x					
		S e M	x		x		x			x	x	x	x	x
		M > 70%												
	Diâmetro	Pequeno (< 50)			x									
		Médios (51 - 100)		x			x	x	x	x	x	x	x	
		Grande (101 - 200)	x			x								x
	Tiloses	Presentes	x	x							x	x	x	x
	Depósitos	Esbranquiçado	x						x		x	x		x
		Alaranjado	x									x		
Enegrecido														
Parênquima axial	Visível a olho nu								x				x	
	Visível somente sob lente		x	x	o	x		x	x		x	x	x	
	Indistinto sob lente			o	x		x	o						
	Apotraqueal	Difuso						2						
		Difuso-em-agregados				1		1	1					
	Paratraqueal	Escasso			3									
		Vasocêntrico		2	2								6	4
		Aliforme losangular	3	1	1						3	4	4	3
		Aliforme linear											5	
		Confluente curto	1								4	3	1	2
		Confluente longo	2								1	1	2	1
		Unilateral										5	7	
Em faixas	Linhas													
	Faixas									2	2	3	1	

Espécies / Características anatômicas da madeira			<i>Stryphnodendron adstringens</i>	<i>Tachigali aurea</i>	<i>Tachigali subvelutina</i>	<i>Eriotheca pubescens</i>	<i>Miconia burchellii</i>	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	<i>Ouratea hexasperma</i>	<i>Roupala montana</i>	<i>Qualea grandiflora</i>	<i>Qualea multiflora</i>	<i>Qualea parviflora</i>	<i>Vochysia thyrsoidea</i>	
		Escalariforme								1					
		Faixa/linha marginal	3	4											
Raios	Visível a olho nu					x				x				x	
	Visível somente sob lente		x	x	x		x	x	x		x	x	x		
	Indistinto sob lente														
	Largura (Tr)	Extremamente fino (≤ 15)							x						
		Muito fino (15 - 30)		x	x	x									
		Fino (30 - 50)						x		x		x	x	x	x
		Estreito (51 - 100)					x								
		Largo (> 100)									x				
	Frequência de raios/mm (Tr)	Muito poucos (< 25)									x				
		Poucos (26 - 50)		x	x	x	x	x		x		x	x	x	x
		Numerosos (51 - 80)							x						
	Altura (tg)	Baixos (< 100)		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
		Altos (> 100)					x				x				
Estrutura estratificada	Regular														
	Irregular		x											x	
ES	Canais	Axiais													
		Radiais													
		Traumáticos									o	x	x	x	



Fig. 2 *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O.Berg. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

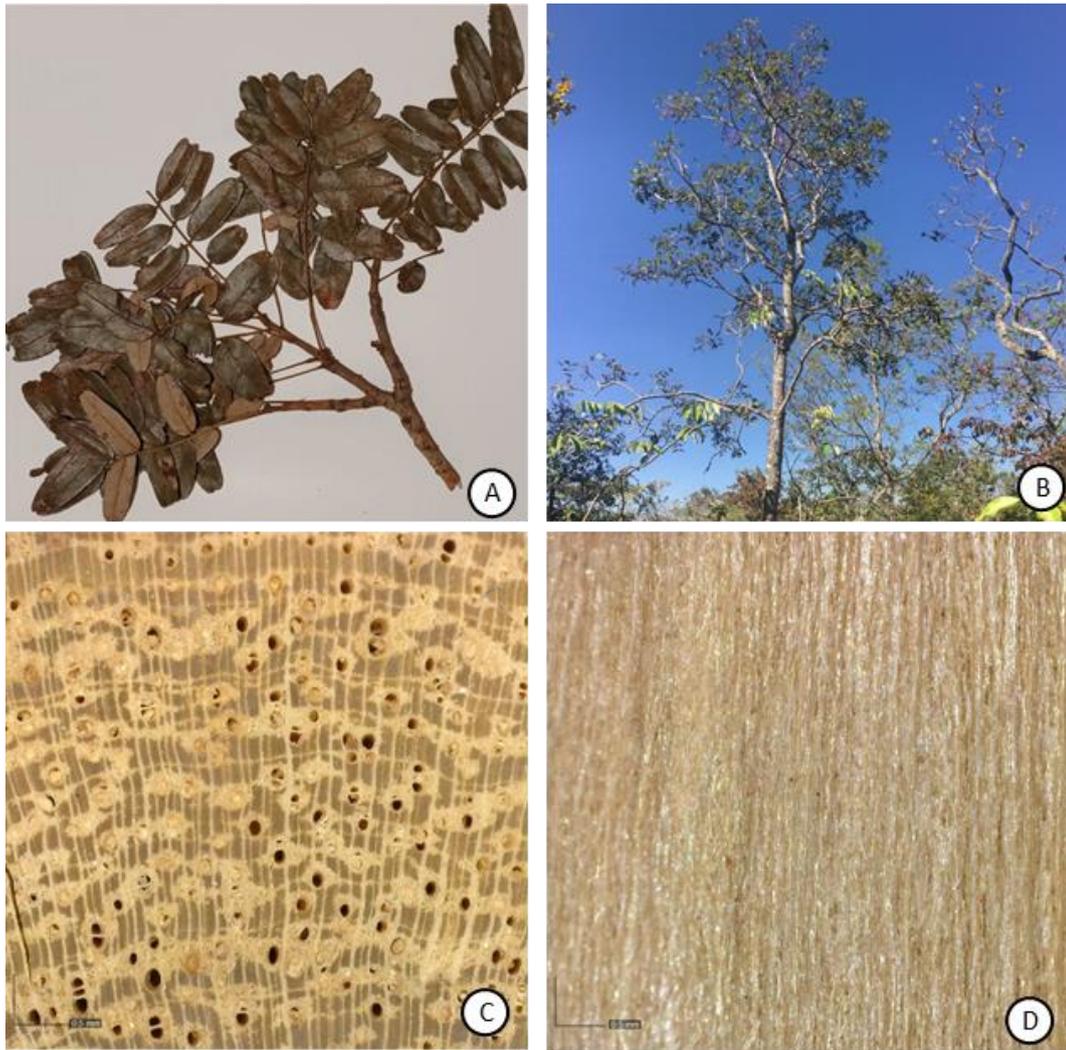


Fig. 3 *Bowdichia virgilioides* Kunth A. Exsicata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

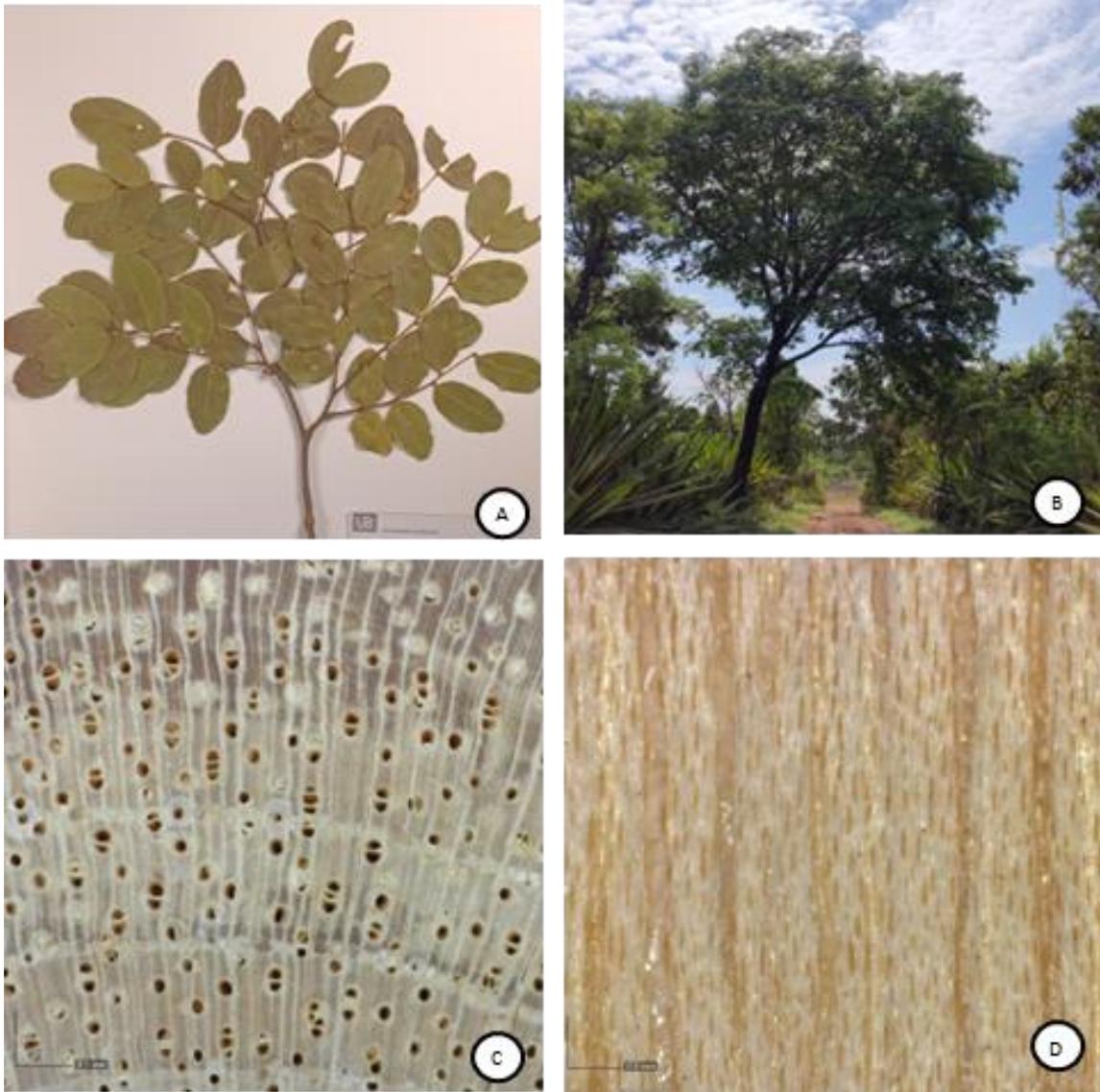


Fig. 4 *Copaifera langsdorffii* Desf. A. Exsicata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

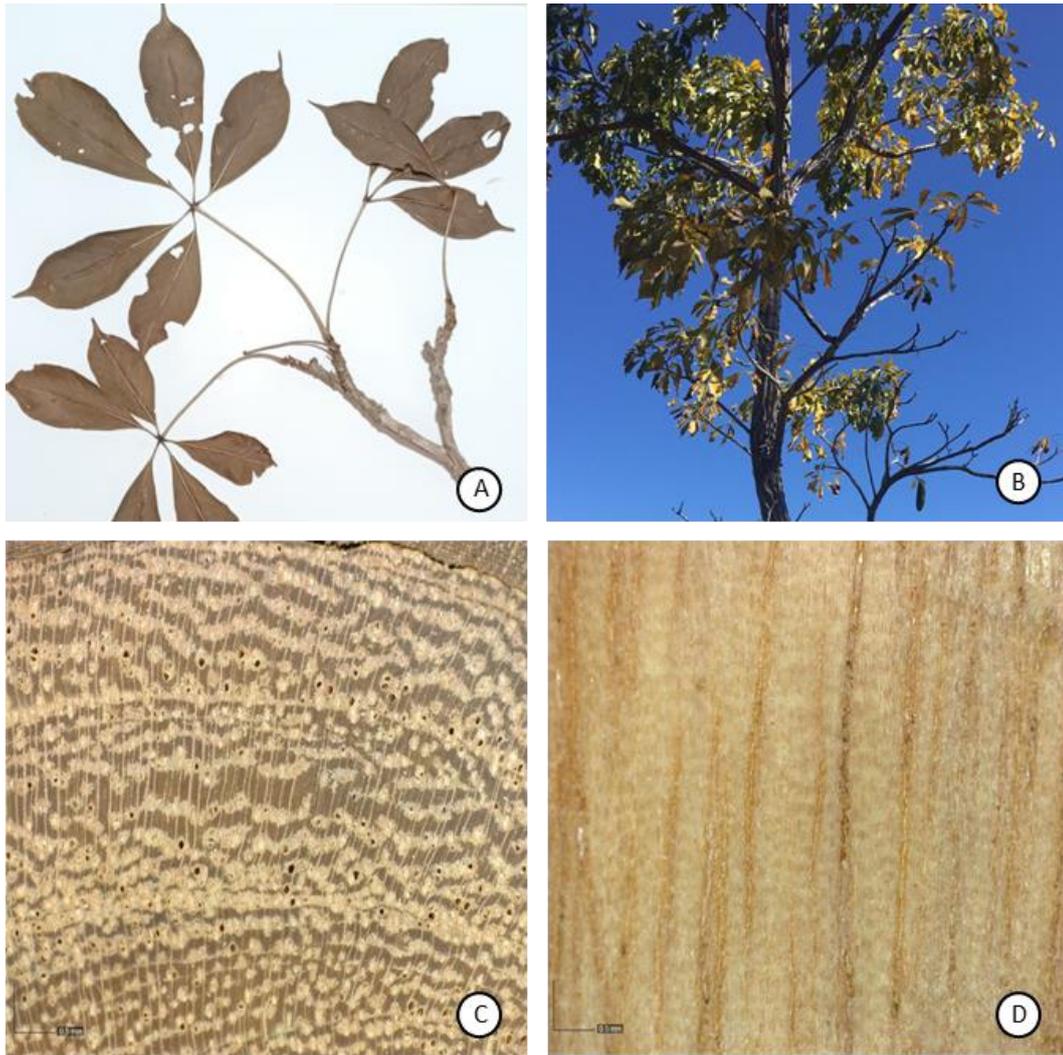


Fig. 5 *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

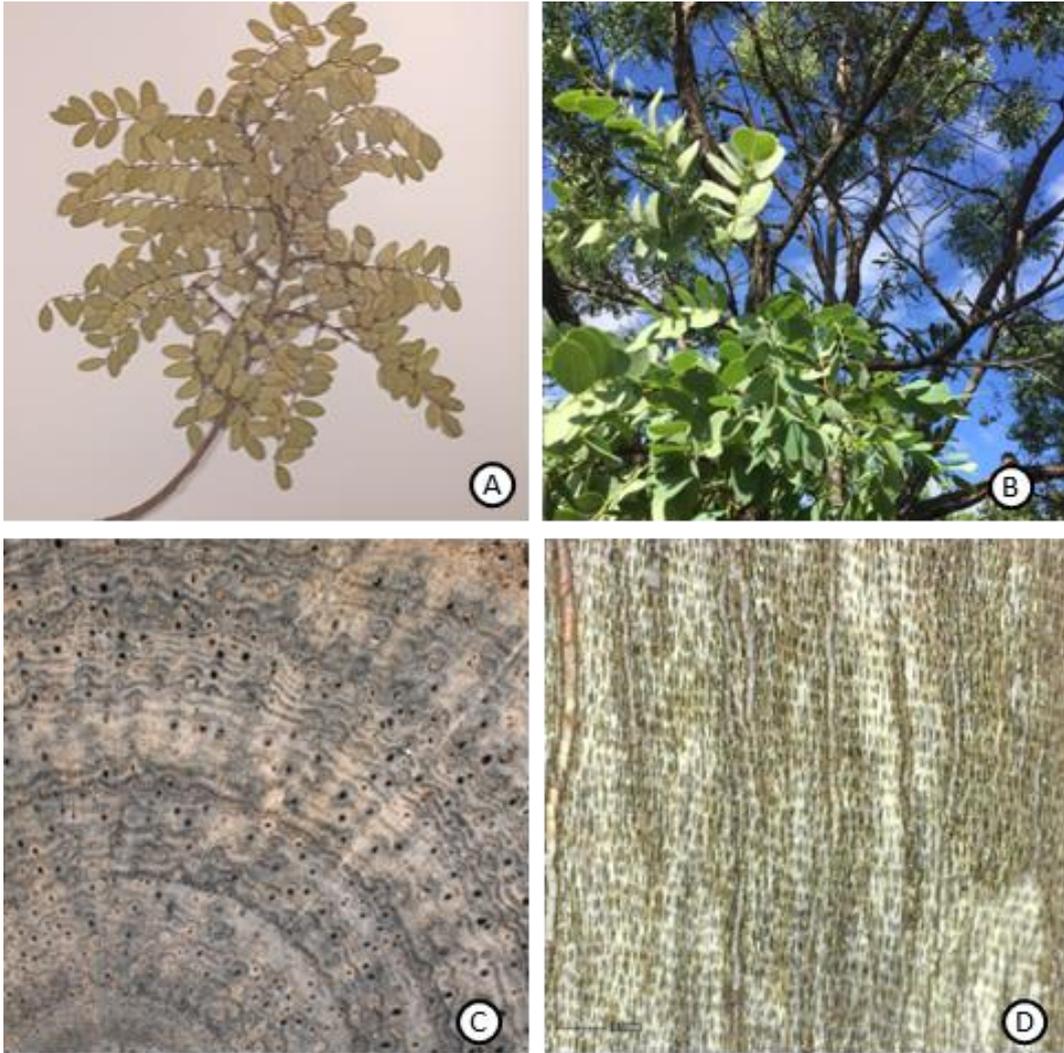


Fig. 6 *Dalbergia miscolobium* Benth. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.



Fig. 7 *Didymopanax macrocarpus* (Cham. & Schltdl.) Seem. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

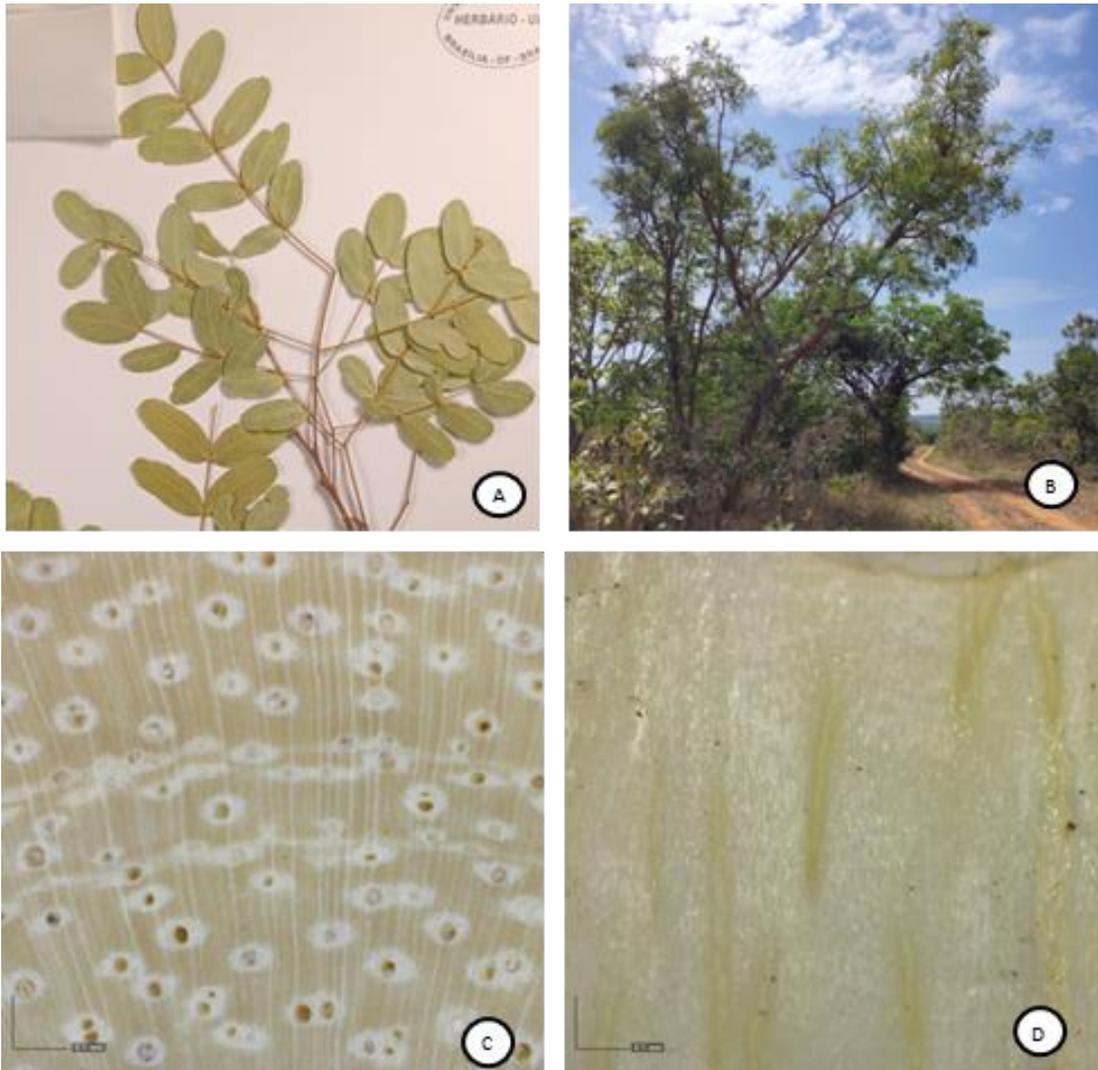


Fig. 8 *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F Macbr. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

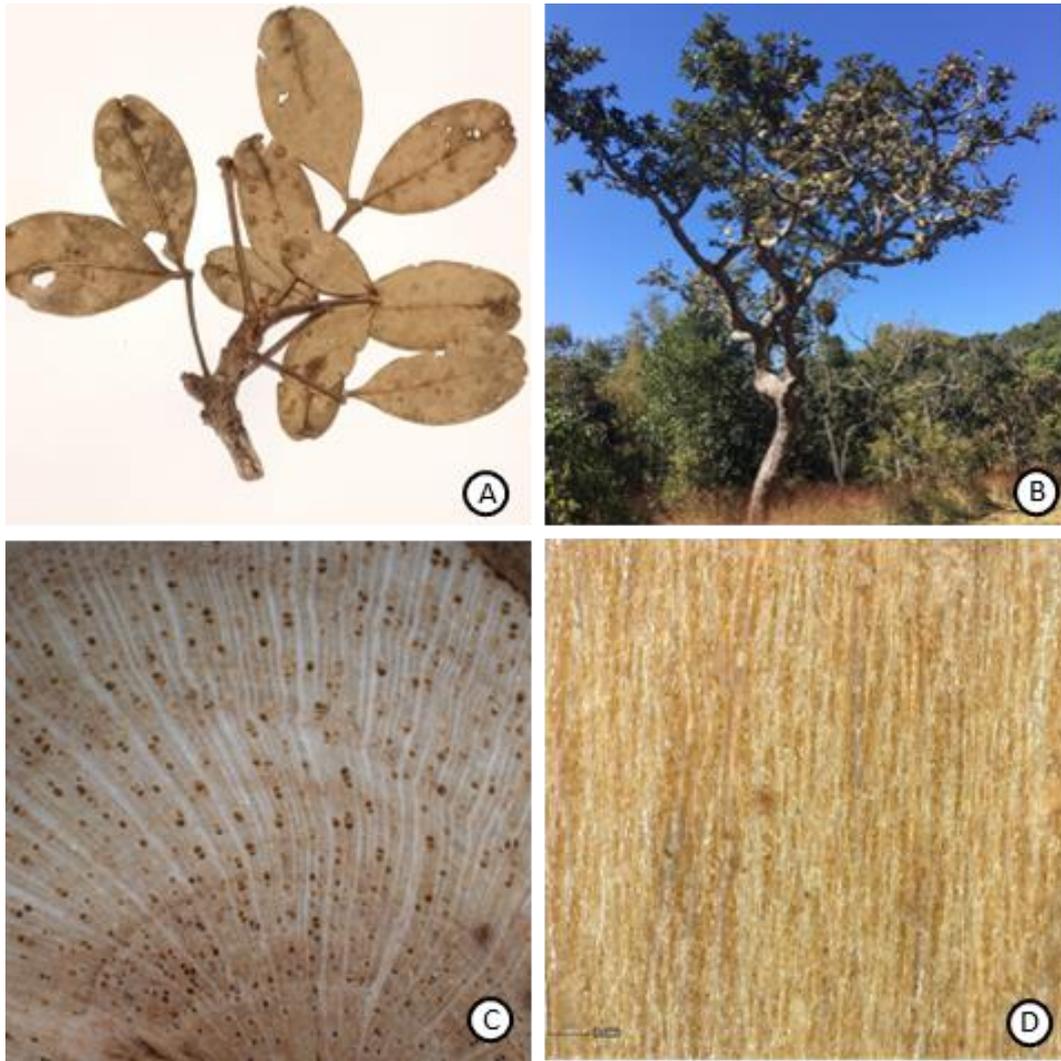


Fig. 9 *Eriotheca pubescens* (Mart.) Schott & Endl. A. Exsicata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

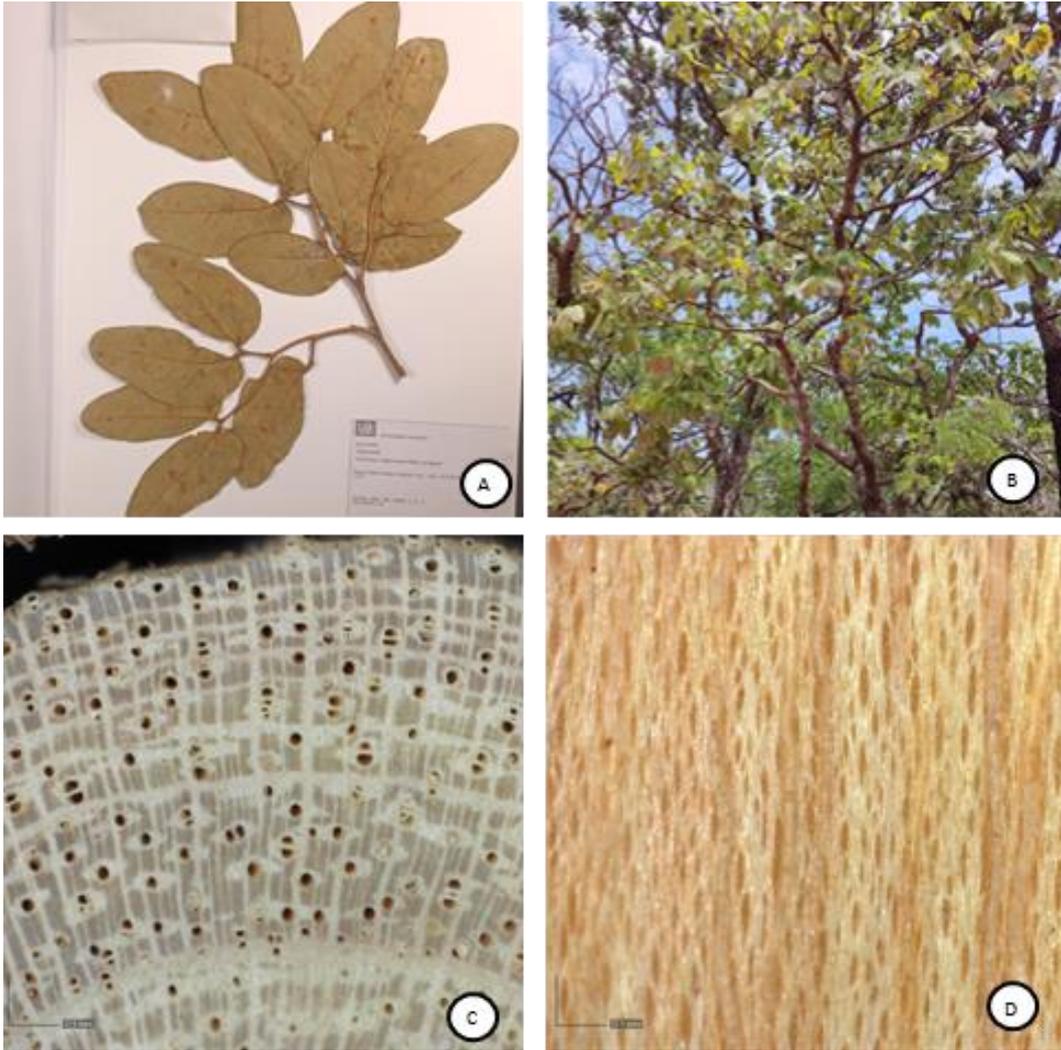


Fig. 10 *Hymenaea stagnocarpa* Mart. Ex Hayne A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

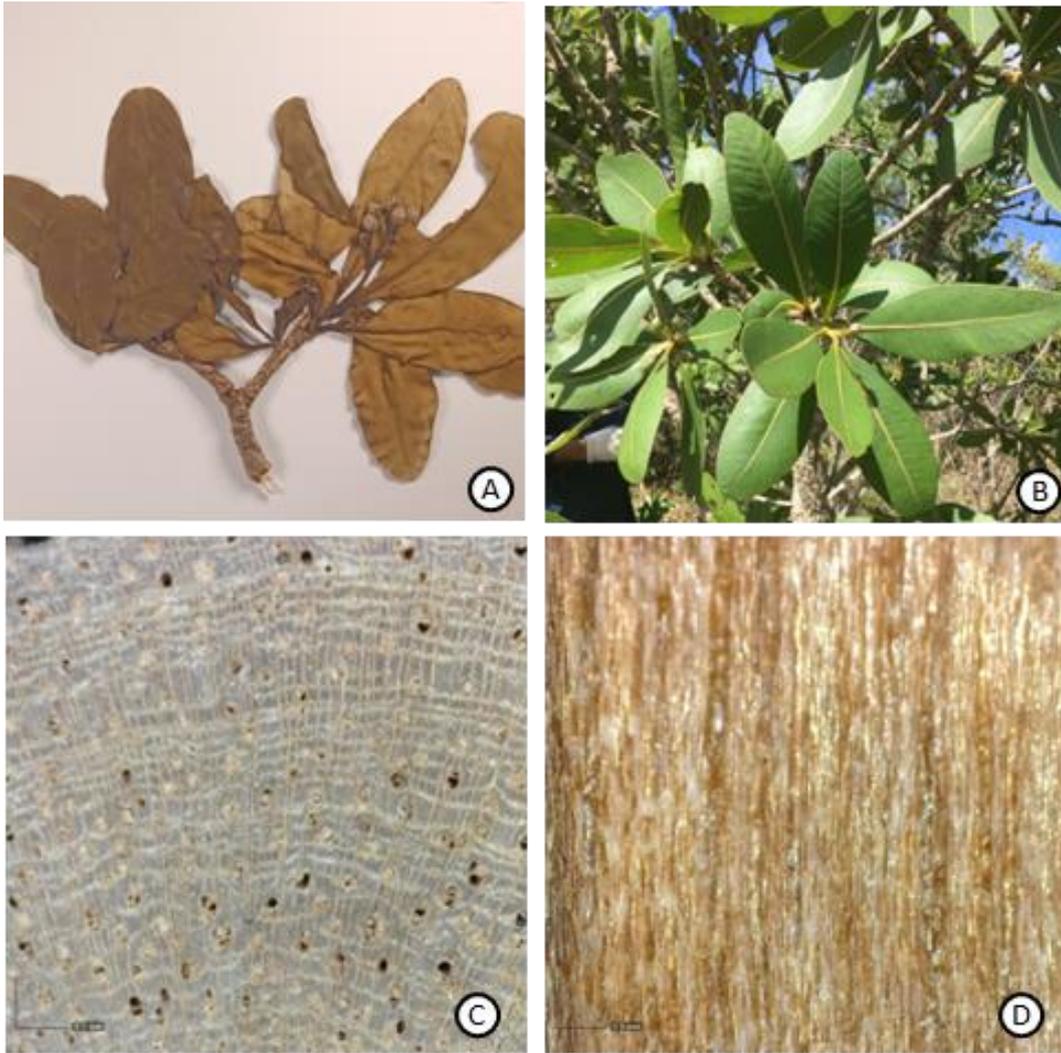


Fig. 11 *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. A. Exsicata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.



Fig. 12 *Kielmeyera speciosa* A.St.-Hil. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

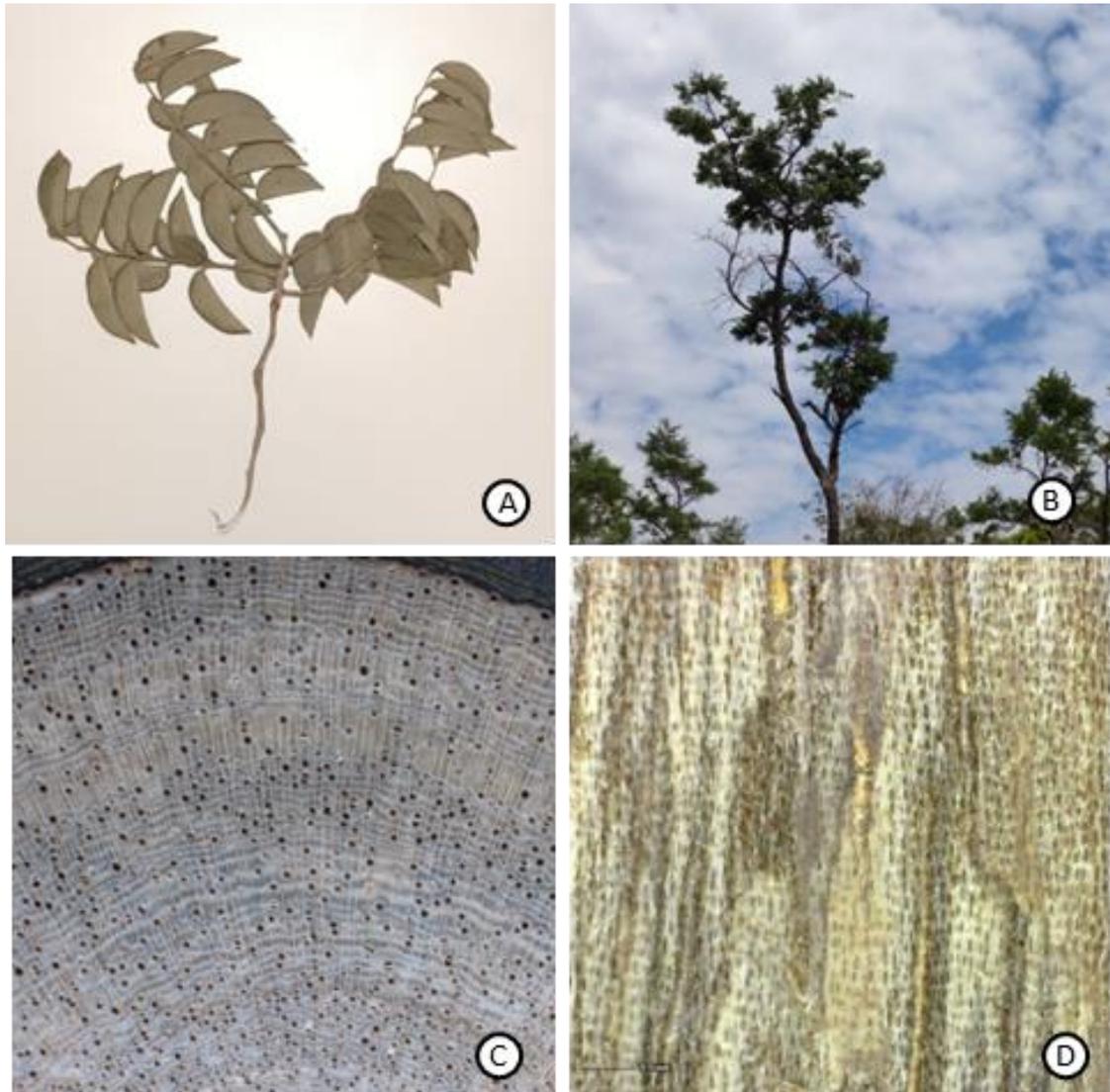


Fig. 13 *Machaerium opacum* Vogel A. Exsiccata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

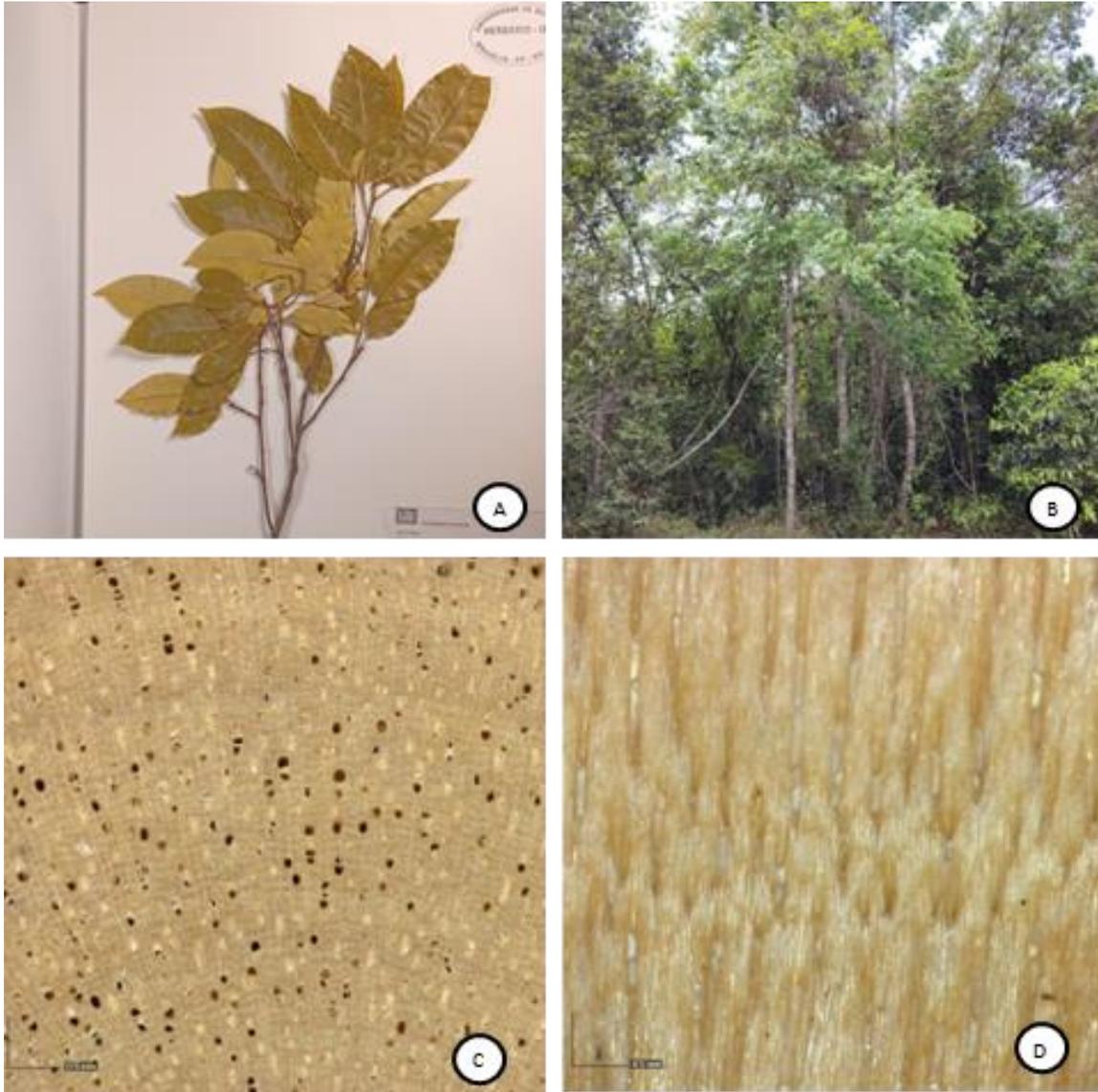


Fig. 14 *Maprounea guianensis* Aubl. A. Exsiccata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.



Fig. 15 *Miconia burchellii* Triana A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

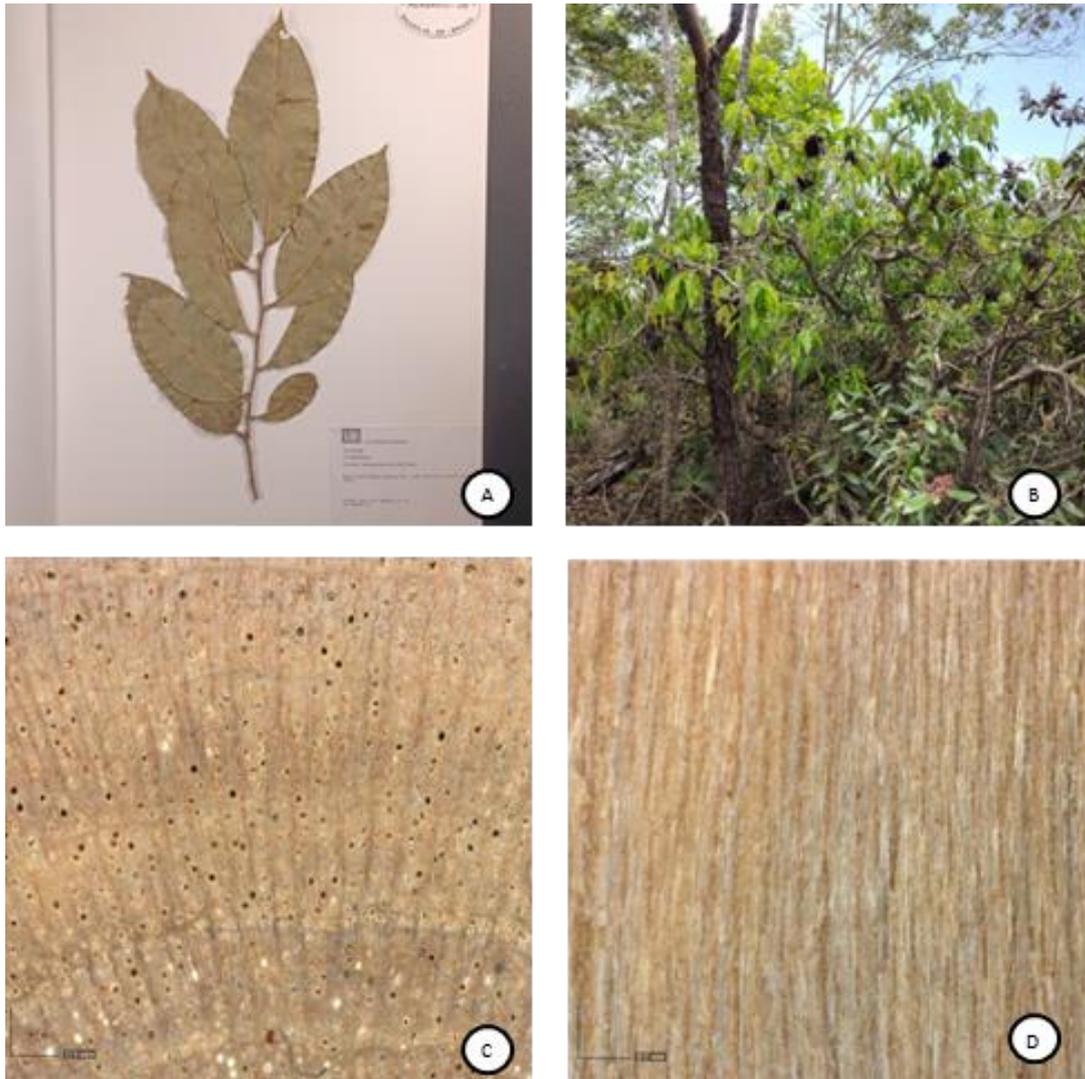


Fig. 16 *Ouratea hexasperma* (A.St.-Hil.) Baill. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

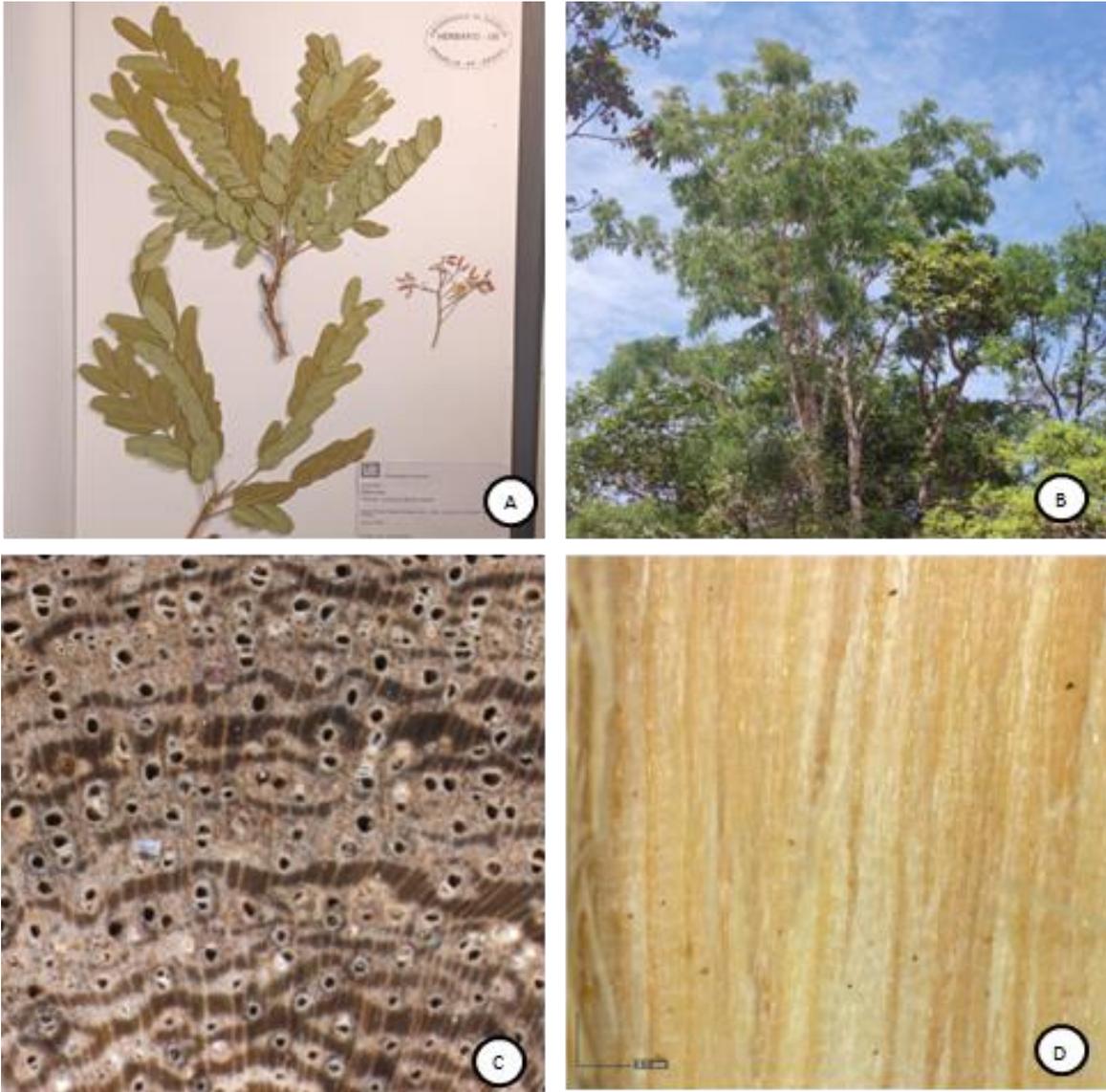


Fig. 17 *Pterodon pubescens* (Benth.) Benth. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

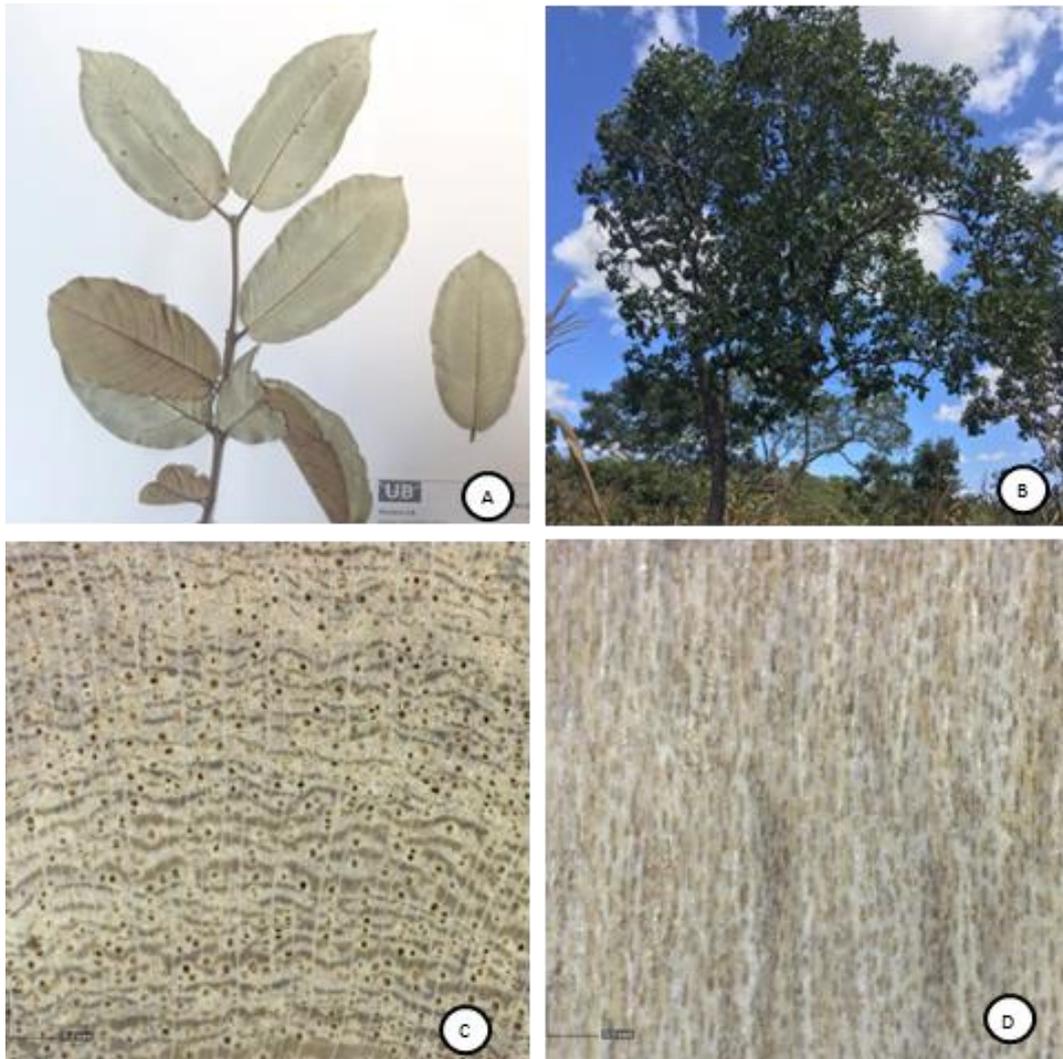


Fig. 18 *Qualea grandiflora* Mart. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

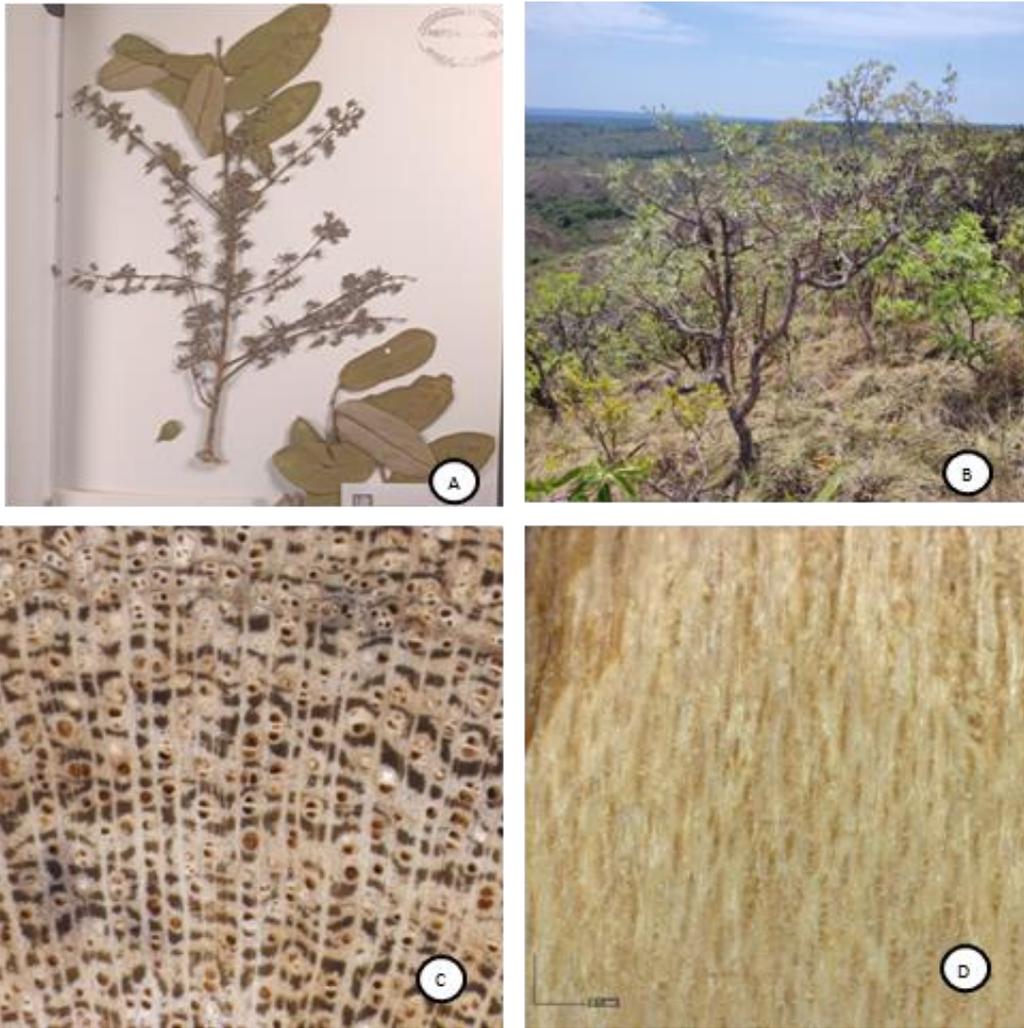


Fig. 19 *Qualea multiflora* Mart. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

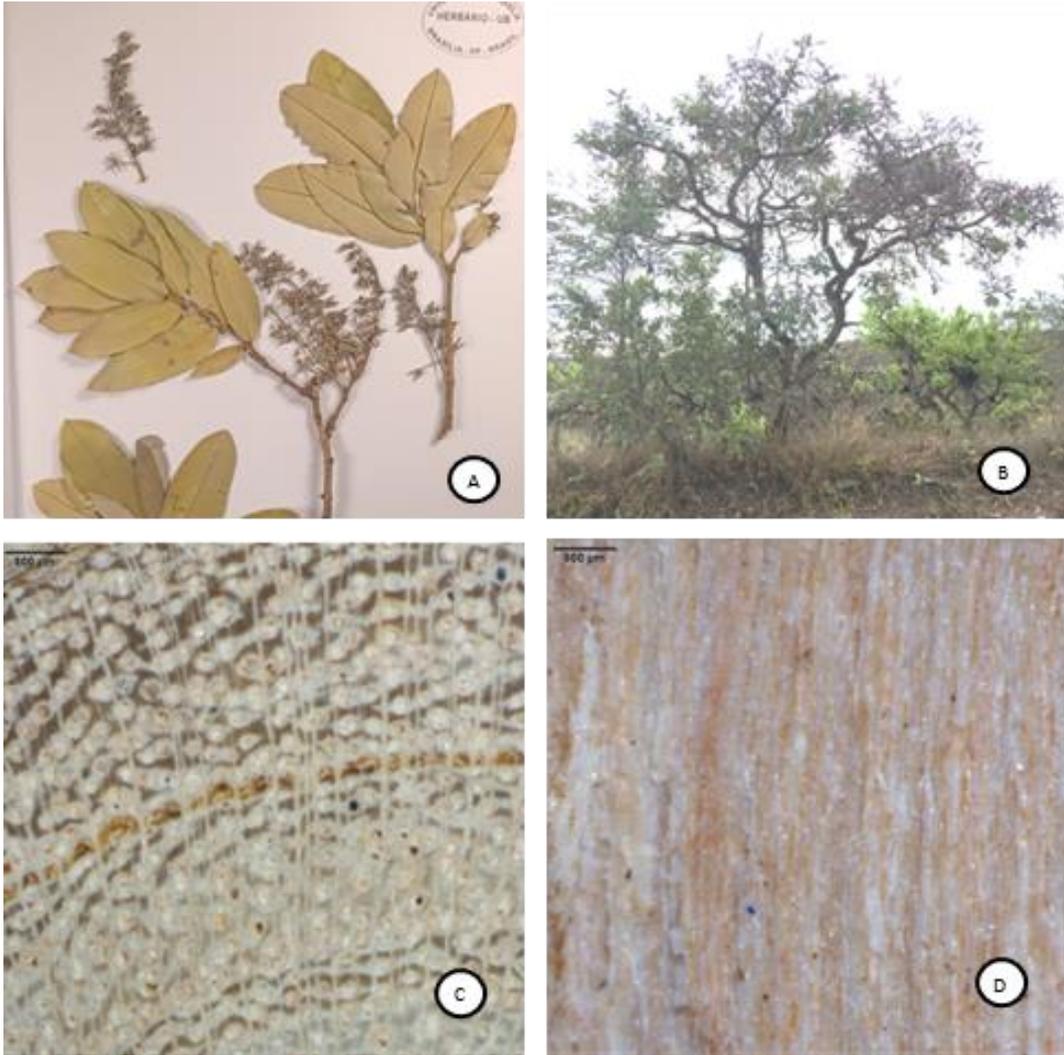


Fig. 20 *Qualea parviflora* Mart. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

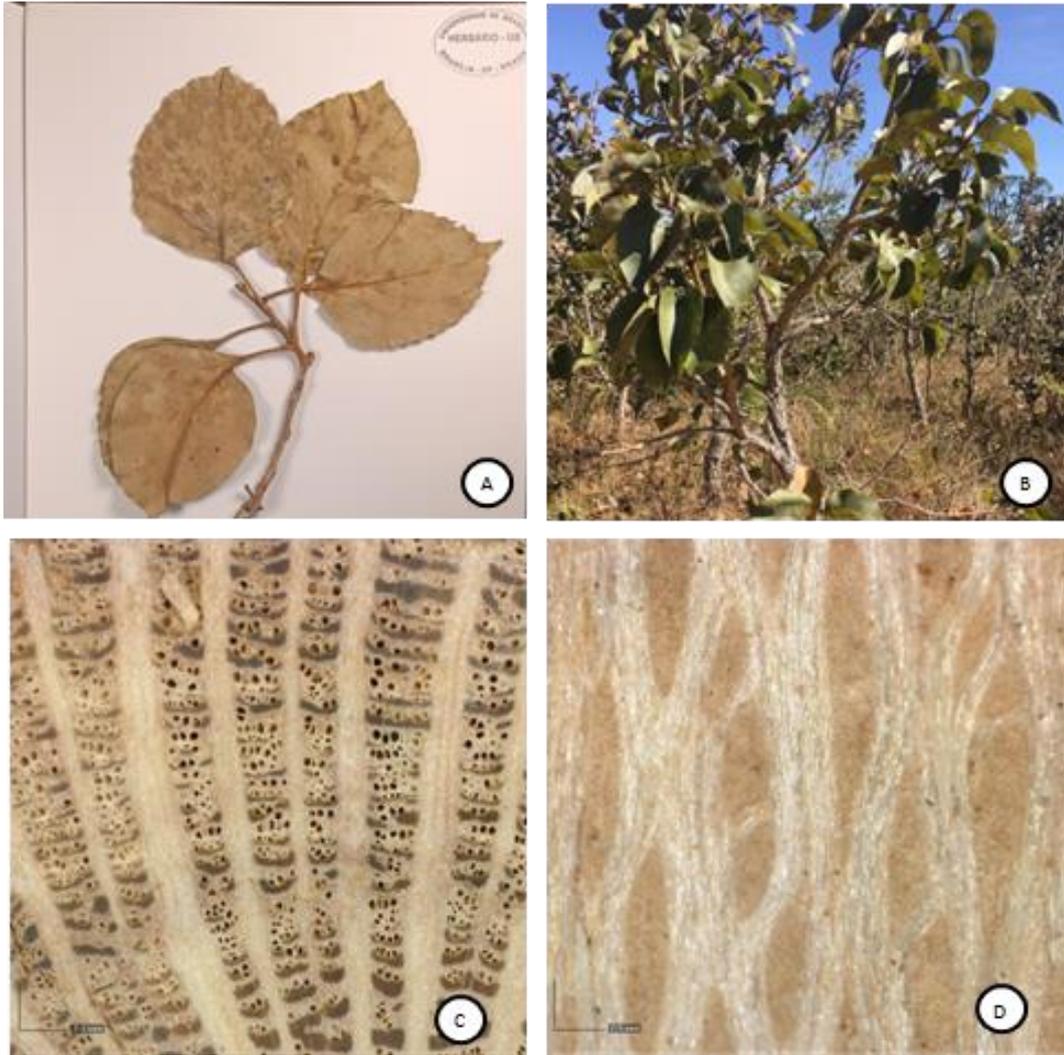


Fig. 21 *Roupala montana* Aubl. A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

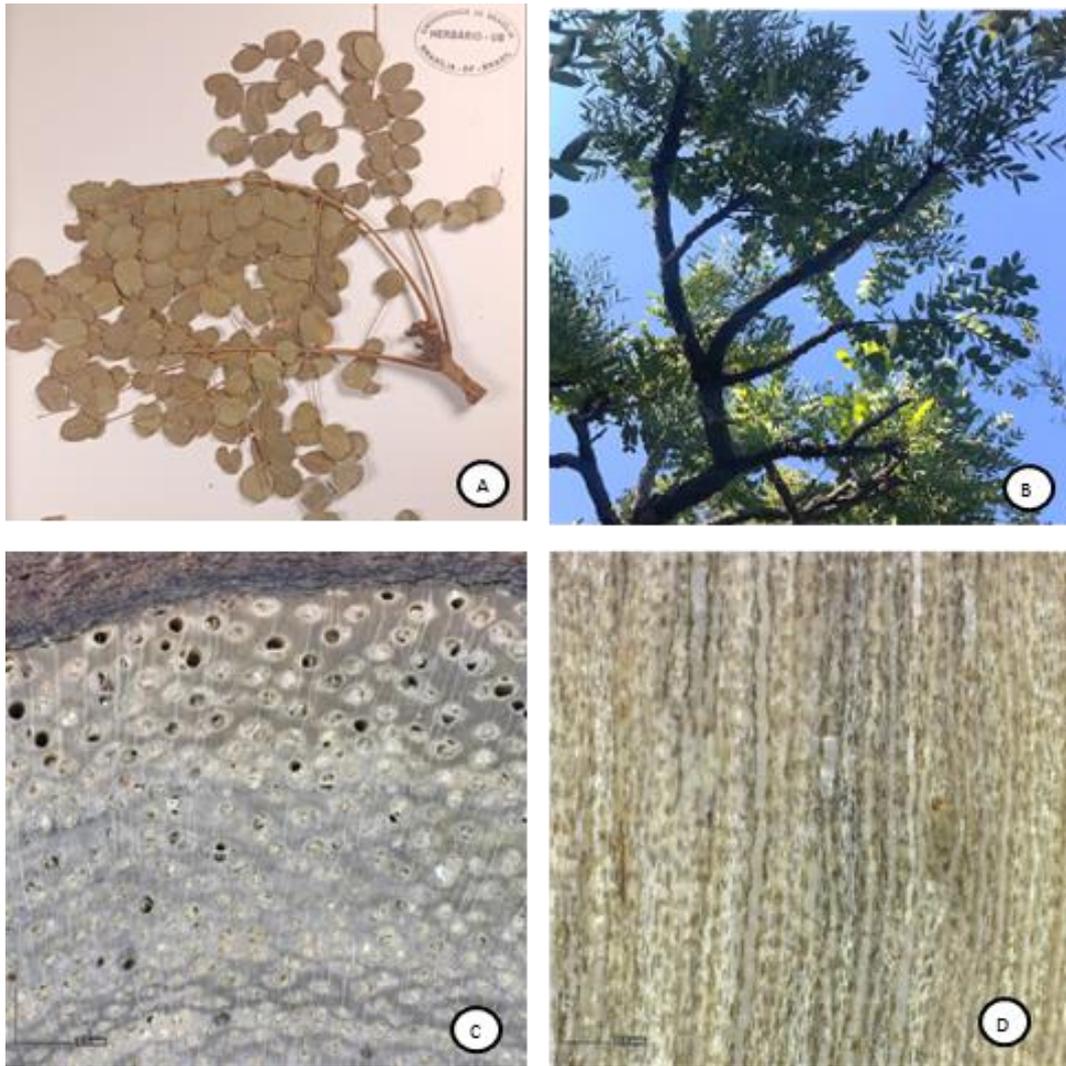


Fig. 22 *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville A. Exsicata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.



Fig. 23 *Tachigali aurea* Tul. A. Exsicata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.



Fig. 24 *Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

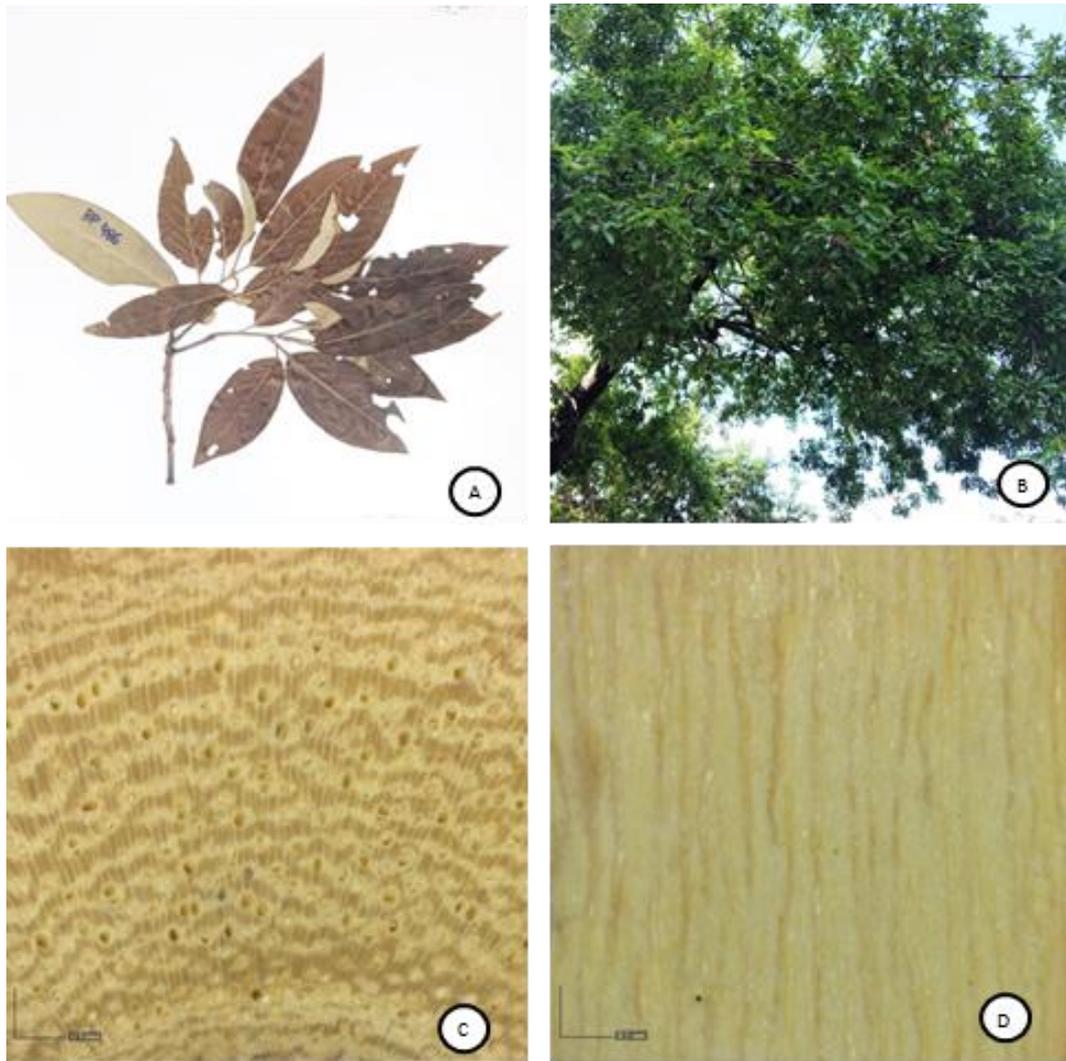


Fig. 25 *Terminalia argentea* Mart. & Zucc. A. Exsicata; B. Árvore *in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

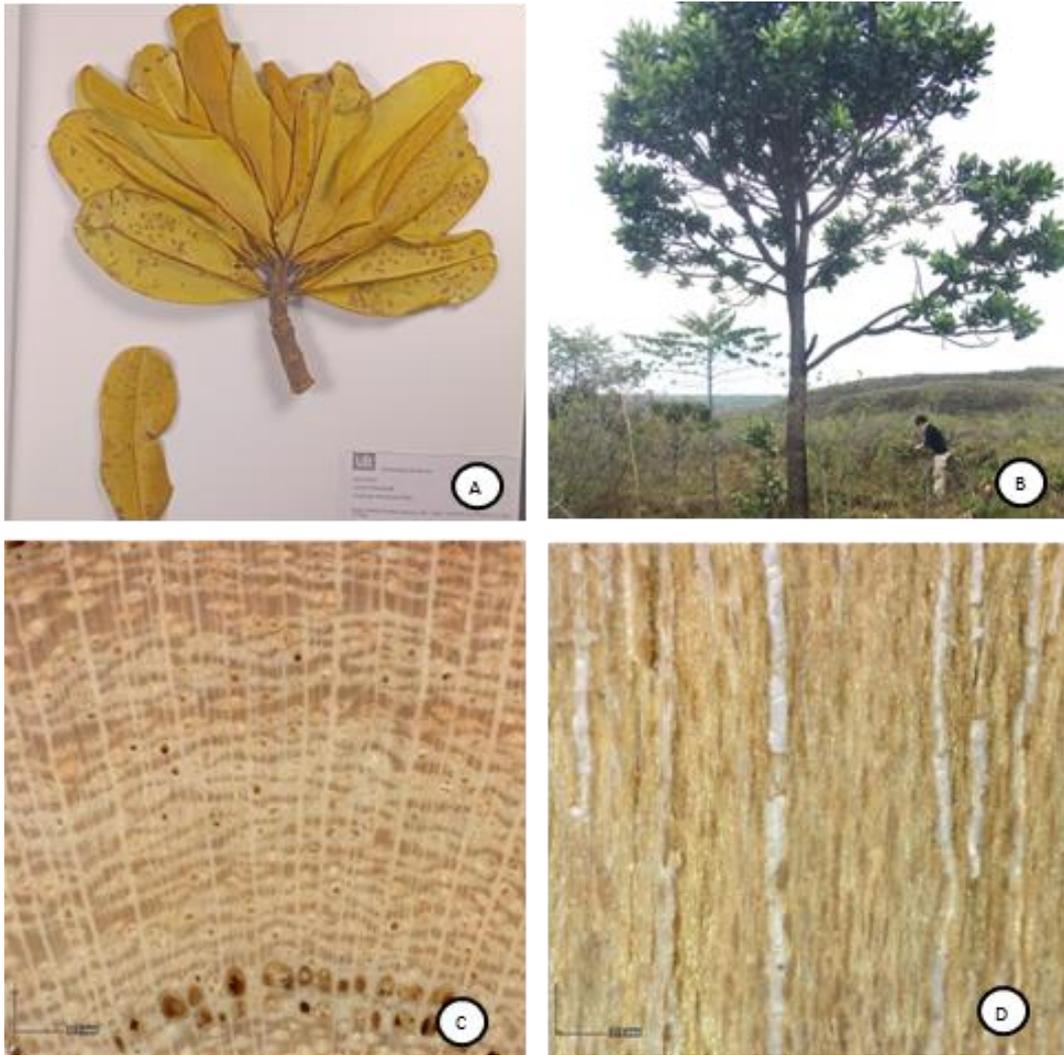


Fig. 26 *Vochysia thyrsoidea* Pohl A. Exsicata; B. *Árvore in loco*; C. Plano transversal; D. Plano tangencial. Barras = 1 mm.

Chave de Identificação de múltiplo acesso

Tabela 4 Chave de identificação de múltiplo acesso de 25 espécies arbóreas do Cerrado com características vegetativas – folha e madeira, encontradas na FAL-UnB. Nas intersecções que apresentam a letra “K.”, devem-se olhar a chave auxiliar do grupo selecionado.

		Folha simples									
		Filotaxia				Nervura			Outras características		
		Folha simples alterna	Folha simples oposta	Folha simples verticilada com	Folha simples verticilada sem	Broquidódroma	Camptódroma	Coletora	Glândula na folha/folículo	Glândula pecíolo	Odor
Parênquima axial	Visível a olho nu	<i>Rmo</i> <i>Tar</i>			<i>Vth</i>	<i>Rmo</i> <i>Tar</i> <i>Vth</i> <i>Qmu</i> <i>Vth</i>			<i>Vth</i>	<i>Tar</i>	<i>Rmo</i>
	Visível somente sobre lente	<i>Ohe</i> <i>K.</i> <i>Mgu</i>				<i>Qgr</i> <i>Qpa</i> <i>K.</i> <i>Mgu</i>	<i>Ohe</i>				
	Indistinto sobre lente		<i>Mbu</i> <i>Bsa</i>			<i>Bsa</i>		<i>Bsa</i>			<i>Bsa</i>
	difuso-em-agregados	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>			<i>Bsa</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>			<i>Bsa</i>
	Confluente curto	<i>Tar</i>	<i>Qpa</i>	<i>Qpa</i>		<i>Tar</i> <i>Qpa</i>		<i>Qpa</i>		<i>Tar</i> <i>Qpa</i>	
	confluente longo		<i>Qgr</i> <i>Qmu</i>		<i>Vth</i>	<i>Qgr</i> <i>Qmu</i> <i>Vth</i>		<i>Qgr</i> <i>Qmu</i>	<i>Vth</i>	<i>Qgr</i> <i>Qmu</i>	
	Aliforme linear	<i>K.</i>				<i>K.</i>					
	Escalariforme	<i>Rmo</i>				<i>Rmo</i>					<i>Rmo</i>
	Linhas	<i>Mgu</i>				<i>Mgu</i>			<i>Mgu</i>		
	Aliforme linear formando linhas	<i>K.</i>				<i>K.</i>					

Vasos	Visível a olho nu	<i>K.</i>			<i>Vth</i>	<i>K. Vth</i>			<i>Vth</i>		
	Visível somente sob lente	<i>Tar</i> <i>Mgu</i> <i>Ohe</i> <i>Rmo</i>	<i>Qmu</i> <i>Qgr</i> <i>Qpa</i>			<i>Tar Mgu</i> <i>Rmo</i>	<i>Ohe</i>		<i>Mgu</i>	<i>Tar</i>	<i>Rmo</i>
	Arranjo tangencial	<i>Rmo</i>				<i>Rmo</i>					
	Arranjo diagonal/radial		<i>Mbu</i>								
	Solitários (70%)	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>			<i>Bsa</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>			<i>Bsa</i>
Camada de Crescimento	Indistinta ou mal demarcada		<i>Qmu</i>			<i>Qmu</i>		<i>Qmu</i>		<i>Qmu</i>	
	Pode conter acúmulo de vasos	<i>K.</i>				<i>K.</i>					
	Zona fibrosa	<i>K.</i> <i>Tar</i> <i>Mgu</i> <i>Ohe</i>	<i>Mbu</i> <i>Bsa</i> <i>Qgr</i> <i>Qpa</i> <i>Qmu</i>	<i>Qpa</i>	<i>Vth</i>	<i>K. Tar</i> <i>Mgu Qgr</i> <i>Qmu Qpa</i> <i>Vth</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i> <i>Qgr</i> <i>Qmu</i> <i>Qpa</i>	<i>Mgu</i> <i>Vth</i>	<i>Tar</i> <i>Qgr</i> <i>Qmu</i> <i>Qpa</i>	<i>Bsa</i>
	Faixa/linha marginal	<i>Kco</i>				<i>Kco</i>					
Raios	Visível a olho nu	<i>Rmo</i>	<i>Qmu</i>		<i>Vth</i>	<i>Rmo Vth</i>			<i>Vth</i>		<i>Rmo</i>
OC	Muita exsudação ao corte	<i>K.</i>			<i>Vth</i>	<i>K. Vth</i>			<i>Vth</i>		
	Presença de canal traumático	<i>Tar</i>	<i>Qmu</i> <i>Qpa</i>	<i>Qpa</i>	<i>Vth</i>	<i>Tar Qmu</i> <i>Qpa Vth</i>		<i>Qmu</i> <i>Qpa</i>	<i>Vth</i>	<i>Tar</i> <i>Qmu</i> <i>Qpa</i>	

Ble = *Blepharocalyx salicifolius*; *Kco* = *Kielmeyera coriacea*; *Mgu* = *Maprounea guianensis*; *Mbu* = *Miconia burchellii*; *Ohe* = *Ouratea hexasperma*; *Qgr* = *Qualea grandiflora*; *Qmu* = *Qualea multiflora*; *Qpa* = *Qualea parviflora*; *Rmo* = *Roupala montana*; *Tar* = *Terminalia argentea*; *Vth* = *Vochysia thyrsoidea*.

Tabela 5 Chave de identificação de múltiplo acesso de 25 espécies arbóreas do Cerrado com características vegetativas – folha e madeira, encontradas na FAL-UnB. Nas intersecções que apresentam a letra “K.”, devem-se olhar a chave auxiliar do grupo selecionado.

		Folha composta										
		Folha digitada		Folha pinada				Nervura		Outras características		
		folha digitada oposta	folha digitada alterna	folha bifoliada alterna	folha pinada alterna dística	folha pinada alterna espiralada	folha bipinada	campitódroma	pinada	glândula na folha/folículo	glândula pecíolo	gotículas de óleo
Parênquima axial	visível a olho nu	<i>Can</i>		<i>Hst</i>	<i>Cla</i>	<i>Bvi Dmi Mop Ppu</i>	<i>Egu</i>			<i>Cla</i>	<i>Egu</i>	<i>Cla Ppu</i>
	visível somente sob lente		<i>Dma Epu</i>			<i>Mop Tau Tsb</i>	<i>Sad</i>	<i>Tau Tsb</i>	<i>Dma</i>		<i>Sad</i>	
	indistinto sob lente					<i>Tsb</i>		<i>Tsb</i>				
	escasso		<i>Dma</i>						<i>Dma</i>			
	difuso-em-agregados		<i>Epu</i>									
	confluente curto					<i>Bvi</i>	<i>Sad</i>				<i>Sad</i>	
	confluente longo	<i>Can</i>				<i>Ppu</i>						<i>Ppu</i>
	aliforme losangular					<i>Tau Tsb</i>	<i>Egu</i>	<i>Tau Tsb</i>			<i>Egu</i>	
	aliforme linear					<i>Dmi Mop</i>						
	vasicêntrico				<i>Cla</i>					<i>Cla</i>		<i>Cla</i>
	escalariforme											
faixa/linha marginal			<i>Hst</i>									
Vasos	visível a olho nu		<i>Epu</i>	<i>Hst</i>	<i>Cla</i>	<i>Dmi Mop Ppu Tsb</i>	<i>Egu Sad</i>	<i>Tsb</i>		<i>Cla</i>	<i>Egu Sad</i>	<i>Cla Ppu</i>
	visível somente sob lente	<i>Can</i>	<i>Dma</i>	<i>Hst</i>	<i>Cla</i>	<i>Bvi Dmi Mop Ppu Tau Tsb</i>		<i>Tau Tsb</i>	<i>Dma</i>	<i>Cla</i>		<i>Cla</i>
	arranjo diagonal/radial		<i>Dma</i>						<i>Dma</i>			
	solitários (70%)	<i>Can</i>	<i>Epu</i>			<i>Mop Tau</i>		<i>Tau</i>				
	múltiplos (70%)					<i>Bvi</i>						
Camada de Crescimento	indistinta ou mal demarcada					<i>Mop</i>						
	pode conter acúmulo de vasos	<i>Can</i>										
	zonas fibrosas		<i>Dma Epu</i>		<i>Cla</i>	<i>Mop Tau Tsb</i>	<i>Sad</i>	<i>Tau Tsb</i>	<i>Dma</i>	<i>Cla</i>	<i>Sad</i>	<i>Cla</i>
	faixa/linha marginal	<i>Can</i>		<i>Hst</i>	<i>Cla</i>	<i>Bvi Dmi Mop Ppu</i>	<i>Egu Sad</i>			<i>Cla</i>	<i>Egu Sad</i>	<i>Cla Ppu</i>

Raios	visível a olho nu	<i>Can</i>	<i>Dma</i> <i>Epu</i>	<i>Hst</i>					<i>Dma</i>			
	estratificação regular	<i>Can</i>				<i>Bvi Dmi Mop</i>						
	estratificação irregular					<i>Bvi</i>	<i>Sad</i>				<i>Sad</i>	
OC	presença de canais axiais				<i>Cla</i>					<i>Cla</i>		<i>Cla</i>
	presença de canais radiais		<i>Dma</i>						<i>Dma</i>			

Bvi = *Bowdichia virgilioides*; *Cla* = *Copaifera langsdorffii*; *Can* = *Cybistax antisyhilitica*; *Dmi* = *Dalbergia miscolobium*; *Dma* = *Didymopanax macrocarpus*; *Egu* = *Enterolobium gummiferum*; *Epu* = *Eriotheca pubescens*; *Hst* = *Hymenaea stigonocarpa*; *Mop* = *Machaerium opacum*; *Ppu* = *Pterodon pubescens*; *Sad* = *Stryphnodendron adstringens*; *Tau* = *Tachigali aurea*; *Tsu* = *Tachigali subvelutina*.

Tabela 6 Chave de identificação auxiliar para as espécies *Kielmeyera speciosa* e *Kielmeyera coriacea* com características da anatomia macroscópica da madeira. CC = camada de crescimento.

		Parênquima axial	
		linha marginal	confluente curto
	<i>Kielmeyera</i>		
CC	faixa/linha marginal	<i>coriacea</i>	
Vasos	mais solitários (+50%)		<i>speciosa</i>
	mais múltiplos (+50%)	<i>coriacea</i>	
Raios	poucos		<i>speciosa</i>
	numerosos	<i>coriacea</i>	

Tabela 7 Imagem da chave de identificação de múltiplo-acesso interativa de 25 espécies de árvores do Cerrado *s.l.*. Camada de crescimento = c.c.

	Característica Folha																	
	Folha					Filotaxia			Nervura				Outras Características					
	Simplex	Composta digitada	Composta bifoliolada	Composta pinada	Composta bipinada	Alterna	Oposta	Verticilada	Acródroma	Broquidódroma	Camptódroma	Pinada	Coletora	Presença de tricomas ("pelos")	Glândula na folha/folículo	Glândula no peciolo	Odor característico	Gofículas translúcidas
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	x						x			x			x	x			x	x
<i>Bowdichia virgilioides</i>				x		x				x				x				
<i>Copaifera langsdorffii</i>				x		x				x					x			x
<i>Cybistax antisyhilitica</i>		x					x			x				x				
<i>Dalbergia miscolobium</i>				x		x				x								
<i>Didymopanax macrocarpus</i>		x				x				o		x		x				
<i>Enterolobium gummiferum</i>					x	x				x						x		
<i>Eriotheca pubescens</i>		x				x				x				x				
<i>Hymenaea stagnocarpa</i>			x			x				x				x				
<i>Kielmeyera coriacea</i>	x					x				x				x				
<i>Kielmeyera speciosa</i>	x					x				x				x				
<i>Machaerium opacum</i>				x		x				x				x				
<i>Maprounea guianensis</i>	x					x				x					x			
<i>Miconia burchellii</i>	x						x		x					x				
<i>Ouratea hexasperma</i>	x					x					x							
<i>Pterodon pubescens</i>				x		x				x				x				x
<i>Qualea grandiflora</i>	x						x			x			x	x		x		
<i>Qualea multiflora</i>	x						x	o		x		o	x	x		x		
<i>Qualea parviflora</i>	x						x	o		x			x	x		x		
<i>Roupala montana</i>	x					x				x				x			x	
<i>Stryphnodendron adstringens</i>					x	x				x						x		
<i>Tachigali aurea</i>				x		x					x			x				
<i>Tachigali subvelutina</i>				x		x					x			x				
<i>Terminalia argentea</i>	x					x				x				x		x		
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	x							x		x					x			

Tabela 7 Continuação com as características da madeira.

	Característica madeira																				
	Camada de Crescimento				Vasos				Parênquima Axial				Raios		Canais						
	Demarcada por faixa/linha marginal	Demarcada por zona fribrosa	vasos de maior tamanho junto a camada de	Visível a olho nu	Arranjo radial/diagonal próximo a medula predominantemente solitários ($\geq 70\%$)	Predominantemente múltiplos ($\geq 70\%$)	Presença de tiloses	Depósitos (gomas, óleos)	Visível a olho nu	Indistinto sob lente	Apotraqueal	Paratraqueal	linhas	faixas	Linha ou faixas marginas	Visível a olho nu	Estratificação regular	Estratificação irregular	Axiais	radiais	traumáticos
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>		X			X				X	X											
<i>Bowdichia virgilioides</i>	X					X	X	X	X			X						X			
<i>Copaifera langsdorffii</i>	X			X			X	X	O			X							X		
<i>Cydistax antisyhilitica</i>	X		O		X				O			X			X	X					
<i>Dalbergia miscolobium</i>	X			O			X	X	X			X					X				
<i>Didymopanax macrocarpus</i>		X			O							X			X					X	
<i>Enterolobium gummiferum</i>	X			X					X			X									
<i>Eriotheca pubescens</i>		X		X	X						X	X			X						
<i>Hymenea stagnocarpa</i>	X			O				X	X					X	X						
<i>Kielmeyera coriacea</i>	X	X	X	X			X					X									
<i>Kielmeyera speciosa</i>		X	X	X			X	X				X									
<i>Machaerium opacum</i>	O	O		X	X			X	O			X					X				
<i>Maprounea guianensis</i>		X					X						X								
<i>Miconia burchellii</i>		X			X					X											
<i>Ouratea hexasperma</i>		X			X			X			X										
<i>Pterodon pubescens</i>	X			X				X	X			X									
<i>Qualea grandiflora</i>		X					X	X				X									O
<i>Qualea multiflora</i>		X					X	X				X									X

Análise quantitativa da madeira

As medições diâmetro e densidade de vasos estão disponíveis na tabela 8. Grande parte das espécies se enquadra na categoria de vasos médios (0,051 e 0,100 mm) e poucos apresentam densidade média (20-40 V 4 mm-2).

Tabela 8 Número de vasos em porcentagem de acordo com cada espécie analisada. Diâmetro dos vasos classificados em pequenos (P) (menores que 0,05 mm), médios (M) (0,051 e 0,100 mm), grandes (G) (0,11 e 0,200 mm) e muito grande (MG) (maiores que 0,200 mm). Densidade de vasos classificados em médios (M) (20-40 V 4 mm-2) numerosos (N) (40-100 V 4 mm-2) e muito numerosos (MN) (mais do que 100 V 4 mm-2).

	Diâmetro de vasos (%)				Densidade de vasos (%)		
	P	M	G	MG	M	N	MN
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	3	97					100
<i>Bowdichia virgilioides</i>		97	3				100
<i>Copaifera langsdorffii</i>	10	90					100
<i>Cybistax antisyphilitica</i>		33	67				100
<i>Dalbergia miscolobium</i>	3	97				57	43
<i>Didymopanax macrocarpus</i>		23	73	3		87	13
<i>Enterolobium gummiferum</i>		33	63			57	43
<i>Eriotheca pubescens</i>		17	83			97	3
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>		40	60			100	
<i>Kielmeyera coriacea</i>		90	10		20	80	
<i>Kielmeyera speciosa</i>		57	43			57	43
<i>Machaerium opacum</i>	3	97				7	93
<i>Maprounea guianensis</i>	3	97				7	93
<i>Miconia burchellii</i>		33	63			63	37
<i>Ouratea hexasperma</i>		97	3			90	10
<i>Pterodon pubescens</i>		23	77			90	10
<i>Qualea grandiflora</i>	10	90				63	37
<i>Qualea multiflora</i>	7	87	7			63	37
<i>Qualea parviflora</i>	3	97					100
<i>Roupala montana</i>	17	77	3	3		20	80
<i>Stryphnodendron adstringens</i>		17	83				100
<i>Tachigali aurea</i>		73	27			3	97
<i>Tachigali subvelutina</i>		87	13				100
<i>Terminalia argentea</i>	77	23					100
<i>Vochysia thyrsoidea</i>		13	87			43	57

Na Fig. 27, foi disponibilizada a porcentagem e vasos solitários e múltiplos para melhor comparação. Em sua maioria, as espécies apresentaram mais vasos múltiplos.

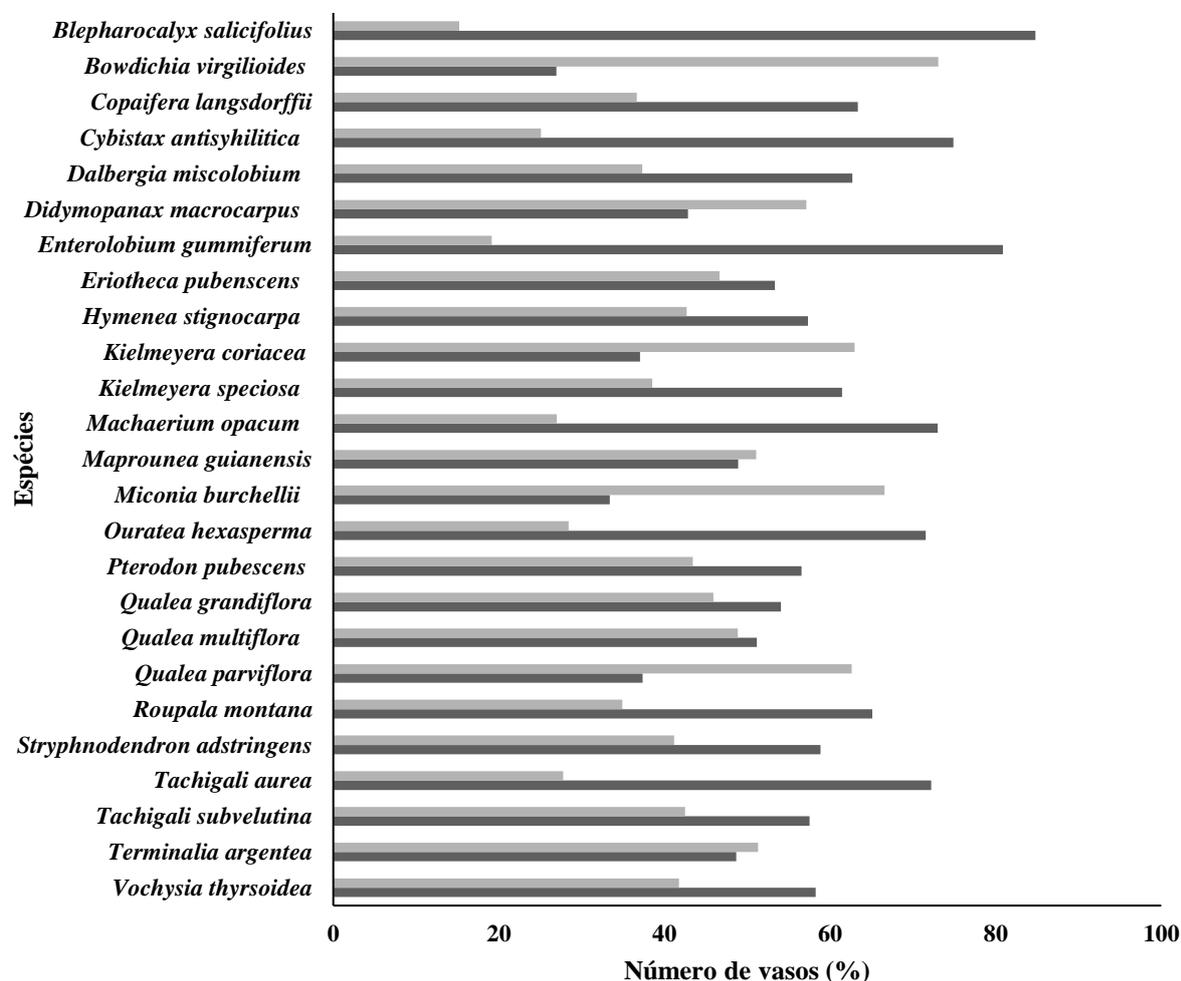


Fig. 27 Número de vasos solitários (cinza escuro) e múltiplos (cinza claro) em porcentagem (%) em 4 mm².

A frequência, largura e altura de raios das madeiras estão na tabela 9. Em sua maioria os raios tiveram baixa frequência, classificado em poucos (26 a 50 R mm⁻¹), foram muito finos a finos foram (0,015 a 0,03 mm e 0,031 a 0,05 mm, respectivamente), e pequenos (< 0,100 mm).

Tabela 9 Número de raios em porcentagem de acordo com cada espécie analisada. Frequência de raios classificados em: muito poucos (MP) (menos que 25 R mm⁻¹); poucos (P) (26 a 50 R mm⁻¹); e numerosos (N) (0,051 a 0,08 R mm⁻¹). Largura dos raios classificados em: extremamente finos (EF) (< 0,015 mm); muito fino (MF) (0,015 a 0,03 mm); fino (F) (0,031 a 0,05 mm); estreito (E) (0,051 a 0,100 mm); largo (L) (> 0,1 mm). Altura dos raios classificados em: pequeno (P) (< 0,100 mm); e grandes (G) (≥ 0,100 mm).

	Frequência			Largura				Altura		
	MP	P	N	EF	MF	F	E	L	P	G
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>			100	93	7				100	
<i>Bowdichia virgilioides</i>		87	13		50	47		3	100	
<i>Copaifera langsdorffii</i>		100			17	70	13		100	
<i>Cybistax antisyphilitica</i>		97	3			70	23	7	100	
<i>Dalbergia miscolobium</i>		100				7	87	7	100	
<i>Didymopanax macrocarpus</i>		10	90		83	13	3		100	
<i>Enterolobium gummiferum</i>		27	73	4	73	13			100	
<i>Eriotheca pubescens</i>	3	97				20	67	13	100	
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>		100			3	40	53	3	100	
<i>Kielmeyera coriacea</i>			100		90	10			100	
<i>Kielmeyera speciosa</i>		83	17		70	20	10		100	
<i>Machaerium opacum</i>		87	13		43	57			100	
<i>Maprounea guianensis</i>		7	93	13	87				100	
<i>Miconia burchellii</i>		93	7		10	87	3		100	
<i>Ouratea hexasperma</i>		100			23	70	7		100	
<i>Pterodon pubescens</i>		80	20		37	63	0		100	
<i>Qualea grandiflora</i>		100			3	73	23		50	50
<i>Qualea multiflora</i>		100			7	50	43		100	
<i>Qualea parviflora</i>		100			3	87	10		100	
<i>Roupala montana</i>	100							100		100
<i>Stryphnodendron adstringens</i>		97	3		83	17			100	
<i>Tachigali aurea</i>		17	83		60	37		3	100	
<i>Tachigali subvelutina</i>		83	17	1	70	27			100	
<i>Terminalia argentea</i>		100		4	83	3			100	
<i>Vochysia thyrsoidea</i>		93	7		27	73			100	

DISCUSSÃO

Como esperado, as diferenças anatômicas macroscópicas das madeiras e das folhas são o suficiente para a distinção das 25 espécies presentes na chave. É importante destacar que, no contexto do Cerrado, as chaves de identificação para espécies arbóreas são poucas e adotam uma abordagem dicotômica, geralmente baseada nas características das folhas e do ritidoma para sua a distinção (Batalha et al. 1998; Silva Júnior 2012; Cândido et al. 2019; Verly et al. 2021).

Deste modo, esta é a primeira chave de identificação de múltiplo acesso e primeira chave interativa utilizando características da anatomia macroscópica da madeira e folha de espécies arbóreas do Cerrado em conjunto. Ambas as chaves foram produzidas com o propósito de facilitar a identificação em campo, uma vez que a coleta do ramo exige pouco tratamento e pode ser realizada com um podão. Além disso, requer o uso de uma menor quantidade de características para reconhecimento do grupo taxonômico.

As principais características das folhas utilizadas para a diferenciação foram: presença de glândulas na folha ou no pecíolo como nas espécies *C. langsdorffii*, *T. argentea*, *V. thyrsoidea* e espécies do gênero *Qualea*; odor forte semelhante a carne na *R. montana* e cheiro aromático forte (adocicado ao amassar as folhas) em *B. salicifolius*; e gotículas translúcidas nas folhas de *B. salicifolius* e *C. langsdorffii*; bem como as diferentes filotaxias e padrão de nervação. As características citadas acima, mais o formato do limbo, presença de tricomas e a consistência, podem ser cruciais para a diferenciação (Martins-da-Silva et al. 2014). Logo, para a produção de uma chave de identificação, não é interessante a utilização de características que são predominantes (Hawthorne 2013).

Durante a coleta de *R. montana*, foi observado que plantas adultas apresentam folhas simples com margens denteadas e onduladas, entretanto, essas são diferentes quando a planta é jovem, pois apresentam as margens pino-lobadas, que podem ser confundidas com folhas composta pinada. Isso foi observado por Silva Junior et al. (2001). Logo, caracteres vegetativos das folhas podem variar por alterações sazonais e estágio de vida, visto que folhas de plantas jovens podem ter alterações na descrição morfológica (Jiménez 2013). Portanto, é importante na hora da coleta ter preferência em amostras de indivíduos adultos, saudáveis e com poucas alterações, como folhas predadas ou com doenças, para evitar variações de forma e textura.

Ademais, foi possível observar características comuns de espécies vegetais que ocorrem em ambientes com períodos de seca intensa. Das espécies analisadas folhas coriáceas foram observadas em 23 delas. Essa característica ocorre em ambientes propensos a déficit hídrico,

para que a planta reduza a perda de água na evaporação (Furquim et al. 2018). Tricomas contribuem para a manutenção da camada de umidade ao redor das folhas que, por sua vez, não perde excessivamente água para o ambiente com baixa taxa de umidade (Pessoa et al., 2019), foram encontrados em 17 espécies deste estudo. Já a margem do limbo foliar inteira com ondulações (acentuadas a suaves), essa característica demonstra eficácia na regulação térmica, devido ao aumento da superfície de contato (Simioni et al. 2017) ocorreram em 23 espécies. Todas as características citadas acima contribuem para a proteção das folhas que são os órgãos mais expostos aos fatores bióticos e abióticos de ambientes mais secos (Simoni et al. 2017; Furquim et al. 2018).

Importante salientar que as espécies do gênero *Kielmeyera* não foram identificadas apenas com características de folha por conta das suas semelhanças. Somente após a descrição de madeira foi possível diferenciá-las pelo tipo de parênquima axial e frequência de vasos múltiplos e solitários. Ambas *K. coriacea* e *K. speciosa* apresentam quase que unicamente parênquima axial aliforme linear formando linhas, entretanto *K. speciosa* ainda possui diferentes tipos do parênquima paratraqueal (confluente, losangular e unilateral). Também pode-se observar uma diferença entre a quantidade de vasos múltiplos e solitários, em que *K. coriacea* tem mais vasos múltiplos do que solitários, o contrário do observado para *K. speciosa*. Apesar de encontrar diferenças anatômicas na madeira, deve-se ter cautela ao identificar as espécies desse gênero. Por isso, a anatomia macroscópica da madeira associada à da folha pode se tornar uma ferramenta valiosa na distinção dessas espécies.

Para a madeira as principais características utilizadas para separação das espécies foram: parênquima axial apotraqueal escasso como no caso da *D. macrocarpus*, difuso-em-agregado nas espécies *O. hexasperma*, *B. salicifolius* e *E. pubescens*; a predominâncias de vasos múltiplos na *B. virgilioides* ou solitários nas espécies *B. salicifolius*, *C. antisiphilitica*, *E. pubescens*, *M. opacum*, *O. hexasperma* e *T. aurea*; visibilidade dos vasos, raios e parênquima axial; estratificação regular dos raios das espécies *C. antisiphilitica*, *D. miscolobium* e *M. opacum*; e a largura de raios da *R. montana*.

Foram encontradas descrições semelhantes para as espécies *B. virgilioides*, *D. miscolobium*, *E. pubescens*, *H. stigonocarpa*, *K. coriacea* *M. opacum*, *R. montana*. *Q. grandiflora*, *Q. multiflora*, *Q. parviflora* e *V. thyrsoidea* (ver Sonsin et al. 2014; Faria et al. 2020).

Interessante observar a diferença na abundância de parênquima axial quando a coleta é realizada em diferentes órgãos. Neste trabalho foi observado para os ramos de *B. virgilioides* parênquima axial confluente longo e curto, e aliforme losangular, sendo este último, menos

predominante. Já, Faria et al. (2020) observou o parênquima aliforme losangular predominante, que eventualmente formava confluenta. Isso pode ser explicado devido a variação axial que afeta os caracteres quantitativos (ver Olson & Rosell 2012), como a diferença na quantidade de célula parenquimáticas e diâmetro de vasos em diferentes partes da árvore (Longui et al 2012; Olson & Rosell 2012). O tipo de parênquima axial é o mesmo, somente a quantidade apresentou variação.

Além disso, para a espécie *C. antisiphilitica* deste trabalho não foi observado arranjo tangencial dos vasos na madeira, entretanto observamos um maior acúmulo de vasos junto a camada de crescimento, o que não é considerado como arranjo tangencial. Porém, essa característica foi descrita por Pace et al. (2015) e por Santos & Miller (1992), mas ambos analisaram a madeira do caule principal.

Neste trabalho, as fibras foram o mais predominantemente. Semelhante ao encontrado no trabalho de Marcati et al. (2006), estudando ramos das espécies de cerrado do Estado de São Paulo, em que observaram que a demarcação mais predominante era relativa às fibras, e que ocorreu em 62% das espécies, sendo que as camadas de crescimento estavam presentes em 94% das plantas.

Em sua grande maioria, os vasos têm um diâmetro médio (0,051mm a 0,100 mm), com exceção das espécies *C. antisiphilitica*, *D. macrocarpus*, *E. pubescens* e *H. stignocarpa* que tem mais de 50% dos vasos grandes (0,100 mm a 0,200 mm) (Tabela 7). Para ambientes mais secos, era esperado a presença de vasos pequenos à médios (Sonsin et al., 2012; Fichtler & Worbes 2012) para ajudar a evitar ou reverter o embolismo (Carlquist 2001) uma vez que essas plantas são submetidas a estresse hídrico nos períodos de baixa umidade e precipitação (Ribeiro & Walter, 2008).

Em sua maioria as espécies apresentaram vasos numerosos (40-100 / 4 mm²) e muito numerosos (>101 / 4 mm²) (Tabela 7). A alta densidade de vasos é esperada para espécies de ambientes secos para evitar a que os vasos sejam obstruídos no caso de formação de embolismo (Carlquist 2001). Sonsin et al. (2012), estudando 12 espécies também observaram que as árvores de cerrado *s.s.* apresentaram uma maior densidade de vasos quando comparadas a árvores de ambientes úmidos, como matas de galerias. Melo Júnior et al. (2011), observaram o mesmo padrão em *C. langsdorffii*, com uma maior densidade de vasos em solos com menor disponibilidade hídrica. A alta densidade de vasos pode assegurar a continuidade na condutividade hídrica (Sonsin et al. 2012).

O agrupamento de vasos variou entre as espécies estudadas (Fig. 27), das 25 espécies analisadas, 18 apresentaram uma quantidade de vasos solitários acima 50%, mas somente as

espécies *B. salicifolius*, *C. antisiphilitica*, *E. gummiferum*, *M. opacum*, *O. hexasperma* e *T. aurea* apresentaram vasos predominantemente solitários (acima de 70% para a macroscopia). Esse resultado vai contra o esperado para ambientes secos ou com períodos longos e intensos de seca em que se é esperado um número maior de vasos múltiplos (Lindorf 1994; Melo Júnior 2011; Sonsin-Oliveira 2012; Lourenço et al. 2022). Foi observado que algumas espécies de Cerrado possuem diferentes estratégias para sobrevivência, investindo em maior ou menor proporção em um tipo de tecido (Dória et al., 2016), como por exemplo, o tecido parenquimático pode ser capaz armazenar água e amido (Longui et al. 2012), sendo esse um dos processos responsáveis no reenchimento do vaso em caso de embolia (Salleo et al. 2004; Venturas et al. 2017). E isso pode estar ocorrendo para as espécies que têm predominância de vasos solitários (ver Fig. 27).

Somente a espécie *B. virgilioides* apresentou maior predominância de vasos múltiplos (mais de 70%). Essa predominância pode estar relacionada a um ajuste anatômico da espécie, com o fato dela passar por longos períodos de seca. Uma vez que a presença de vasos múltiplos pode servir para evitar embolia, pois a água pode continuar passando de um vaso para o outro através das pontuações intravasculares (Carlquist 2001; Bosio et al. 2010; Fichtler & Worbes 2012).

As espécies, no geral, apresentaram uma frequência de raios dentro da classe “poucos” (26 a 50 R mm⁻¹), com exceção de *R. montana* que apresentou “muito poucos” (< 25 R mm⁻¹), uma vez que seus raios têm uma largura no transversal acima de 0,100 mm (largos). Ainda, somente as espécies *R. montana* e *Q. multiflora* apresentaram raios com mais de 1 mm de altura no plano tangencial. A altura dos raios está diretamente associada a flexibilidade do caule (Carlquist 2018), pois essas células possuem parede mais fina quando comparado com as fibras, podendo causar uma diminuição na densidade.

As espécies *C. antisiphilitica*, *D. miscolobium* e *M. opacum* apresentaram estratificação regular e *B. virgilioides*, *S. adstringens* e *V. thyrsoidea* apresentaram estratificação irregular. A presença de estratificação, de raios altos e/ou raios muito largos são características relevante para a identificação de famílias ou alguns gêneros, por exemplo, família Bignoniaceae, Fabaceae, Malvaceae, Meliaceae, Simaroubaceae, Zygophyllaceae, entre outras, apresentam estratificação (InsideWood 2004) e neste caso, por serem representativas entre tantas outras, essas características são um diferencial na hora da identificação.

Variações na anatomia da madeira ocorrem entre diferentes ambientes e biomas (Carlquist 1977; Voigt et al. 2010) e entre os diferentes órgãos das plantas (Olson & Rosell 2012; Longui et al. 2012, 2017). Entretanto, essas variações ocorrem dentro da própria

amplitude de cada espécie (Sonsin et al. 2012; Ferreira et al. 2021) e mesmo com essas diferenças observadas, é possível realizar a identificação de uma espécie em diferentes biomas, e quando comparados os diferentes órgãos, mas é necessário experiência e conhecimento. Portanto, o uso das características anatômicas macroscópicas da madeira em conjunto com características da folha é suficiente para a diferenciação de grupos taxonômicos.

CONCLUSÃO

A importância da identificação de árvores é amplamente reconhecida, assim como o uso de chaves de identificação. No entanto, é crucial buscar a diversificação e o aprimoramento contínuo dessa técnica para o avanço científico. Ao utilizar uma chave de identificação de múltiplo acesso, tem-se uma alternativa ágil e acessível para diferenciar espécies, e velocidade em relação a chave de identificação dicotômica. Portanto, quando se utiliza caracteres da anatomia macroscópica da madeira em conjunto com a morfologia externa da folha obtém-se uma chave que exige pouco preparo da amostra e um conhecimento básico de botânica para a identificação. Logo, não se faz necessário conhecer nomes específicos de cada órgão vegetativo ou sua análise microscópica, e nem o auxílio de um especialista.

Essa é a primeira vez que é produzida uma chave de identificação de múltiplo acesso para espécies arbóreas do cerrado. Constatamos que não foi encontrada descrição anatômica da espécie *Kielmeyera speciosa* na literatura consultada, portanto, é apresentada a primeira descrição da anatomia macroscópica da madeira dessa espécie. Logo, é essencial ressaltar que esse tipo de chave pode e deve ser constantemente atualizado com novas informações e a adição de demais espécies, garantindo seu aprimoramento contínuo.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) por conceder bolsas durante este trabalho, número (Nº 05/2022), ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) pelo suporte financeiro à pesquisa (Nº 1/2021, 1/2022 e 2/2022), ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade de Brasília (PPGBot-UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte local e material para realizar a pesquisa, ao Laboratório de Produtos Florestais (LPF) por conceder acesso a equipamentos para fotografar as amostras. Além disso, agradecemos à Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Cirádia Alves de Souza, proprietária da área particular em Edilândia, Cocalzinho – GO, que nos permitiram coletar as amostras.

Referências bibliográficas

Alencar, JDC (1998) Identificação botânica de árvores de Floresta Tropical Úmida da Amazônia por meio de computador. *Acta Amazonica*, 28: 3-3.

Almeida, RF, Fagg, CW, Oliveira, MCD, Munhoz, CBR, Lima, ASD & Oliveira, LSBD (2014) Mudanças florísticas e estruturais no cerrado sensu stricto ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. *Rodriguésia*, 65: 01-19.

Batalha, MA, Aragaki, S, & Mantovani, W (1998) Chave de identificação das espécies vasculares do cerrado em Emas (Pirassununga, SP) baseada em caracteres vegetativos. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, 17:85-108.

Blagitz, M, Nogueira, A, & Marcati, CR (2021) Differences of the stem vascular system across populations of two tropical species under contrasting water conditions. *IAWA Journal*, 1: 1-18.

Cândido, JB, Viana, RHO, Morais, IG, Amorim, MVDM, & Souza, PBD (2019) Chave de identificação dendrológica das espécies mais comuns de uma área de Cerrado sensu stricto, Gurupi, Tocantins. *Ciência Florestal*, 29:347-362.

Carlquist, S (2001) Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer Science & Business Media. (2ª Edição) New York, Estados Unidos.

Carlquist, S (1977) Ecological Factors in Wood Evolution: a Floristic Approach. *American Journal of Botany*, 64:887–896.

Copant, CPDN (1974) Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. *COPANT*. 30:1-19.

Cruz Ruggiero, PG, Batalha, MA, Pivello, VR, & Meirelles, ST (2002) Soil-vegetation relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, 160:1-16.

Dallwitz, MJ, Paine, TA; Zurcher, EJ (2002) Interactive identification using the internet In: SAARENMAA, H. & NIELSEN, E. S. Towards a global biological information infrastructure:

challenges, opportunities, synergies, and the role of entomology. Copenhagen: European Environment Agency. 4:23-33.

Eckblad, JW (1991) How many samples should be taken?. *Bioscience*, 41:346-348.

Edwards, M, & Morse, DR (1995) The potential for computer-aided identification in biodiversity research. *Trends in Ecology & Evolution*, 10:153-158.

Faria, MCGD, Silva Neto, CDM, Lima, PAF, Chagas, MP, Tomazello Filho, M, & Sette Junior, CR (2020) Brazilian cerrado species: wood characteristics. *Bioscience Journal*, 36:1335-1352.

Ferreira, CA, Inga, JG, Vidal, OD, Goytendia, WE, Moya, SM, Centeno, TB, Vélez, A, Gamarra, D & Tomazello-Filho, M (2021) Identification of Tree Species from the Peruvian Tropical Amazon “Selva Central” Forests According to Wood Anatomy. *BioResources*, 16:7161-7179.

Fichtler, E, & Worbes, M (2012) Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA Journal*, 33:119-140.

Flora do Brasil (2020). URL: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acessado em maio de 2022.

Florsheim, SMB., Ribeiro, AP; Longui, EL, Andrade, IM; Sonsin-Oliveira, J, Chimelo, JP, Soares, RK; Gouveia, TC & Marques, VN (2020) Identificação Macroscópica de Madeiras Comerciais do Estado de São Paulo. (1ª edição). São Paulo: Instituto Florestal.

Freese, F (1967) Elementary statistical methods for foresters (No. 317). US Department of Agriculture. 14-16.

Furquim, LC, dos Santos, MP, de Andrade, CAO, de Oliveira, LA, & Evangelista, AWP (2018) Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. *Científic@-Multidisciplinary Journal*, 5:146-156.

Hickey, LJ (1973) Classification of the architecture of dicotyledonous leaves. *American journal of botany*, 60:17-33.

Hawthorne, W (2013) Plant characters suitable for field guides. In: *Plant Identification*. Routledge. 121-150.

IAWA Committee (1989) IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA B*. 10:219-332.

InsideWood (2004) Published on the Internet. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>. Acessado em Agosto de 2023.

Jiménez, E (2013) Claves dicotómicas para el reconocimiento de los árboles de El Rodeo, Valle Central de Costa Rica. *Brenesia*, 80:4-35.

León, H, & Chavarri, B (2006) Anatomía xilemática del tallo de 8 especies de la subfamilia Euphorbioideae (Euphorbiaceae) en Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 106:1-12.

Lindorf, H (1994) Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. *IAWA Journal*, 15:361-376.

Longui, EL, Silva, RDB, Romeiro, D, de Lima, IL, Florsheim, SMB, & de Melo, ACG (2012) Root-branch anatomical investigation of *Eriotheca gracilipes* young trees: a biomechanical and ecological approach. *Scientia Forestalis*, 40:23-33.

Longui, EL, Rajput, KS, de Melo, ACG, de Araújo Alves, L, & do Nascimento, CB (2017) Root to branch wood anatomical variation and its influence on hydraulic conductivity in five Brazilian Cerrado species. *Bosque*, 38:183-193.

Lourenço Jr, J, Enquist, BJ, von Arx, G, Sonsin-Oliveira, J, Morino, K, Thomaz, LD, & Milanez, CRD (2022) Hydraulic tradeoffs underlie local variation in tropical forest functional diversity and sensitivity to drought. *New Phytologist*, 234:50-63.

Marcati, CR, Oliveira, JS, & Machado, SR (2006) Growth rings in cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. *Biota Neotropica*, 6:1-31.

Martins-da-Silva, RCV, da Silva, ASL, Fernandes, MM, & Margalho, LF (2014) Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica. (1ª Edição) Embrapa Amazônia Oriental-Livro científico (ALICE).

Melo Júnior, JCF, Ceccantini, G, & Bona, C (2011) Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro. *Iheringia, Série Botânica*, 66:189-200.

Mendonça, RD, Felfili, JM, Walter, BMT, Silva-Júnior, MD, Rezende, AV, Filgueiras, TDS, Nogueira, PE & Fagg, CW (2008) Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. *Cerrado: ecologia e flora*, 2:422-442.

Olson, ME, & Rosell, JA (2013) Vessel diameter–stem diameter scaling across woody angiosperms and the ecological causes of xylem vessel diameter variation. *New Phytologist*, 197:1204-1213.

Pace, MR, Lohmann, LG, Olmstead, RG, & Angyalossy, V (2015) Wood anatomy of major Bignoniaceae clades. *Plant Systematics and Evolution*, 301:967-995.

Pessoa, MJG, Guisoni, JJ, Simioni, PF, Pireda, S, Xavier, V, & Silva, IVD (2019) Leaf structural traits of three species of *Qualea* Mart. (Vochysiaceae) in a cerradão area in the Cerrado-Amazonian Forest transition. *Ciência Florestal*, 29:1082-1089.

Procópio, LC, & Secco, RDS (2008) A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do "tauari" (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp.-Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. *Acta amazonica*, 38:31-44.

Rodriguez-Cubillo, D, Pilon, NA, & Durigan, G (2021) Tree height is more important than bark thickness, leaf habit or habitat preference to survive fire in the cerrado of south-east Brazil. *International Journal of Wildland Fire*, 30:899-910.

Salleo, S, Lo Gullo, MA, Trifilo, P, & Nardini, A (2004) New evidence for a role of vessel-associated cells and phloem in the rapid xylem refilling of cavitated stems of *Laurus nobilis* L. *Plant, Cell & Environment*, 27:1065-1076.

Sartorelli, PAR, & Campos Filho, EM (2017) Guia de plantas da regeneração natural do Cerrado e da Mata Atlântica. São Paulo: Agroicone.

Silva Júnior, MD, Felfili, JM, Walter, BMT, Nogueira, PE, Rezende, AV, Moraes, RDO, & Nóbrega, MGG (2001) Análise da flora arbórea de Matas de Galeria no Distrito Federal: 21 levantamentos. Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria. Planaltina, Embrapa Cerrados, 143-191.

Silva Júnior, MC (2012) 100 árvores do cerrado sentido restrito. (2ª Edição) Editora Rede de Sementes do Cerrado.

Silva Júnior, MC, Silva, L, Cordeiro, A, & Munhoz, C (2014) Guia do observador de árvores: tronco, copa e folha. (1ª Edição) Brasília: Rede de sementes do Cerrado.

Silva, MA, Nascente, AS, de Mello Frasca, LL, Rezende, CC, Ferreira, EAS, de Filippi, MCC, et al. (2021) Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. *Research, Society and Development*, 10, e11101220008.

Simioni, PF, Eisenlohr, PV, Pessoa, MJG, & da Silva, IV (2017) Elucidating adaptive strategies from leaf anatomy: Do Amazonian savannas present xeromorphic characteristics?. *Flora*, 226:38-46.

Sonsin, J. O., Gasson, P. E., Machado, S. R., Caum, C., & Marcati, C. R. (2014). Atlas da diversidade de madeiras do Cerrado Paulista - Atlas of wood diversity in the Cerrado of São Paulo. (1ª Edição) Editora Fepaf. Botucatu, São Paulo.

Timberlake, J, Fagg, C, & Barnes, R (1999) Field guide to the Acacias of Zimbabwe. (1ª Edição) Department for International Development (DFID).

Venturas, MD, Sperry, JS, & Hacke, UG (2017) Plant xylem hydraulics: what we understand, current research, and future challenges. *Journal of integrative plant biology*, 59:356-389.

Verly, OM, Silva, S, Medeiros, RA, Olivo-Neto, AM, Domiciano, CA, & Rosa, PR (2021) Caracterização florística e chave dendrológica para espécies em área de Cerradão na transição Cerrado-Pantanal, Mato Grosso, Brasil. *Iheringia, Série Botânica.*, 76.

Vidal, WN, Vidal, MR (1989) Botânica: organografia. (3ª Edição). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Voigt, ARA, Soffiatti, P, Tomazello Filho, M, Lisi, CS, & Boeger, MRT (2010) Anatomia comparada do lenho de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) em fisionomias de cerradão e cerrado sensu stricto. *Rodriguésia*, 61:603-613.

Walter, DE, & Winterton, S (2007) Keys and the crisis in taxonomy: extinction or reinvention? *Annual Reviews Entomology*, 52:193-208.

Wheeler, EA, & Baas, P (1998) Wood identification-a review. *IAWA journal*, 19:241-264.

Zenid, GJ, & Ceccantini, GC (2007) Identificação macroscópica de madeiras. IPT, São Paulo.

Informação suplementar I

Família	Espécie	Tombo	Código de Barra
Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	237568	UB0331205
Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	237567	UB0331204
Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	237566	UB0331203
Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	237565	UB0331202
Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	237564	UB0331201
Bignoniaceae	<i>Cybistax antisyhilitica</i>	237563	UB0331200
Bignoniaceae	<i>Cybistax antisyhilitica</i>	237562	UB0331199
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i>	237561	UB0331198
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera speciosa</i>	237560	UB0331197
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera speciosa</i>	237559	UB0331196
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera speciosa</i>	237558	UB0331195
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera speciosa</i>	237557	UB0331194
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera speciosa</i>	237556	UB0331193
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i>	237555	UB0331192
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i>	237554	UB0331191
Combretaceae	<i>Terminalia argentea</i>	237553	UB0331190
Combretaceae	<i>Terminalia argentea</i>	237552	UB0331189
Euphorbiaceae	<i>Maprounea guianensis</i>	237551	UB0331188
Euphorbiaceae	<i>Maprounea guianensis</i>	237550	UB0331187
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	237549	UB0331186
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	237548	UB0331185
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	237547	UB0331184
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	237546	UB0331183
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	237521	UB0331158
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	237545	UB0331182
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	237544	UB0331181
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	237543	UB0331180
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	237542	UB0331179
Fabaceae	<i>Enterolobium gummiferum</i>	237541	UB0331178
Fabaceae	<i>Enterolobium gummiferum</i>	237540	UB0331177
Fabaceae	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	237539	UB0331176
Fabaceae	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	237538	UB0331175
Fabaceae	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	237537	UB0331174
Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	237536	UB0331173
Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	237535	UB0331172
Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	237534	UB0331171
Fabaceae	<i>Pterodon pubescens</i>	237533	UB0331170

Fabaceae	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	237532	UB0331169
Fabaceae	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	239106	UB0332935
Fabaceae	<i>Tachigali aurea</i>	237531	UB0331168
Fabaceae	<i>Tachigali aurea</i>	237530	UB0331167
Fabaceae	<i>Tachigali subvelutina</i>	237529	UB0331166
Fabaceae	<i>Tachigali subvelutina</i>	237528	UB0331165
Fabaceae	<i>Tachigali subvelutina</i>	237527	UB0331164
Fabaceae	<i>Tachigali aurea</i>	237526	UB0331163
Malvaceae	<i>Eriotheca pubescens</i>	237525	UB0331162
Malvaceae	<i>Eriotheca pubescens</i>	237524	UB0331161
Malvaceae	<i>Eriotheca pubescens</i>	237520	UB0331157
Malvaceae	<i>Eriotheca pubescens</i>	237590	UB0331227
Malvaceae	<i>Eriotheca pubescens</i>	237589	UB0331226
Melastomataceae	<i>Miconia burchellii</i>	237588	UB0331225
Melastomataceae	<i>Miconia burchellii</i>	237587	UB0331224
Melastomataceae	<i>Miconia burchellii</i>	237586	UB0331223
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	237585	UB0331222
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	237584	UB0331221
Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	237583	UB0331220
Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	237582	UB0331219
Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	237581	UB0331218
Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	237580	UB0331217
Proteaceae	<i>Roupala montana</i>	237523	UB0331160
Proteaceae	<i>Roupala montana</i>	237579	UB0331216
Proteaceae	<i>Roupala montana</i>	237522	UB0331159
Proteaceae	<i>Roupala montana</i>	237578	UB0331215
Vochysiaceae	<i>Qualea multiflora</i>	237575	UB0331212
Vochysiaceae	<i>Qualea multiflora</i>	237574	UB0331211
Vochysiaceae	<i>Qualea multiflora</i>	237573	UB0331210
Vochysiaceae	<i>Vochysia thyrsoidea</i>	237572	UB0331209
Vochysiaceae	<i>Vochysia thyrsoidea</i>	237571	UB0331208
Vochysiaceae	<i>Vochysia thyrsoidea</i>	237570	UB0331207
Vochysiaceae	<i>Vochysia thyrsoidea</i>	237569	UB0331206

Informação suplementar II

Descrição das espécies por folha e anatomia macroscópica da madeira.

Blepharocalyx salicifolius

Folha: simples. **Filotaxia:** oposta dística. **Forma:** elíptica, **ápice:** agudo à emarginado, a **base:** em sua maioria é obtusa, mas pode ser arredondada. **Margens:** inteiras levemente onduladas. **Nervura:** broquidódroma e apresenta nervura coletora. **Consistência:** cartácea. **Outras características:** folhas com “pelos”, presença de gotículas de óleo na folha que dão um odor característico quando a folha é amassada.

Madeira - parênquima axial: visível somente sob lente, difuso-em-agregados ocasionalmente formando linhas e difuso. **Vasos:** visíveis somente sob lente, médios (97%) com porosidade difusa, são predominantemente solitários (84,8%), numerosos (63%) e muito numerosos (37%), pouco obstruídos por depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visíveis somente sob lente, na secção transversal são numerosos (100%) e extremamente finos (93%). Na secção tangencial são baixos (100%), não estratificado.

Bowdichia virgilioides

Folha: composta pinada (9-15 folíolos), imparipinada. **Filotaxia:** alterna espiralada. **Forma:** folíolos oblongos, **ápice:** obtuso, raramente sendo truncado, **base:** arredondada podendo ser obtusa. **Margem:** inteira. **Nervura:** broquidódroma, com nervura primária saliente na face abaxial. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** folíolos pilosos, pulvinados e discolores.

Madeira - Parênquima axial: visível a olho nu, confluyente curto, confluyente longo ocasionalmente formando faixa, linha marginal, aliforme losangular, unilateral, aliforme linear, vasicêntrico. **Vasos:** visível somente sob lente, médios (97%), porosidade difusa, predominantemente múltiplos (73,1%), numerosos (56,7%) e muito numerosos (43,3%), depósitos de cor branco/amarelado e presença de poucos tilos. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por faixa/linha marginal. **Raios:** visíveis somente sob lente, na secção transversal são poucos (86,7%), finos (50%) a muito finos (46,7%). Na secção tangencial eles são baixos (100%), pode conter estratificação irregular.

Copaifera langsdorffii

Folha: composta paripinada com folíolos alternos (2-16). **Filotaxia:** alterna dística. **Forma:** oblonga, **ápice:** retuso a arredondado, obtuso, **base:** assimétrica com tendência a arredondada. **Margens:** inteiras levemente onduladas. **Nervura:** broquidódroma e raramente reticulódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** glândula na base da margem da folha, presença de gotículas de óleo, presença de exsudação.

Madeira – Parênquima axial: visível a olho nu, vasicêntrico, aliforme losangular, escasso, linha marginal. **Vasos:** visíveis somente sob lente, ocasionalmente a olho nu, grandes (66,7%) a médios (33%), porosidade difusa, são múltiplos (36,6%) e solitários (63,4%), numerosos (96,7%) e presença de poucos depósitos esbranquiçados, presença de tilos. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por parênquima em linha marginal. **Raios:** vasos visíveis somente sob lente, na secção transversal são poucos (96,7%) e finos (70%). Na secção tangencial são baixos (100%). **Outras características:** presença de canal axial e exsudação expressiva após o corte.

Cybistax antisyphilitica

Folha: composta digitada (7 folíolos). **Filotaxia:** oposta cruzada. **Forma:** elíptica, **ápice:** apiculado e acuminado, **base:** cuneada ou decurrente. **Margem:** inteira, com leves ondulações. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** cartácea. **Outras características:** presença de pelos, pecíolos longos e acanalados.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente ocasionalmente a olho nu, confluyente longo a curto podendo formar faixas, aliforme losangular. **Vasos:** visível sob lente, mas podendo ser a olho nu, médios (90%), porosidade difusa, predominantemente solitários (75%), muito numerosos (100%). **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por faixa/linha marginal, acúmulo de vasos adjacentes. **Raios:** visível a olho nu, na secção transversal são poucos (100%), e finos (70%), na secção tangencial eles são baixos (100%), estratificação regular.

Dalbergia miscolobium

Folha: composta pinada imparipinada (11-21 folíolos). **Filotaxia:** alterna espiralada **Forma:** elíptica arredondada, **ápice:** obtuso a arredondado, **base:** obtusa a cordada. **Margem:**

inteira. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** pecíolos pulvinados, pode conter manchas circulares escuras nos folíolos.

Madeira - Parênquima axial: visível a olho nu e sob lente, aliforme linear formando linhas, confluyente longo formando faixas, aliforme losangular, vasicêntrico, linha/faixa marginal. **Vasos:** visível somente sob lente podendo ser visto a olho nu, grandes (73,4%), porosidade difusa, solitários (62,7%) e múltiplos (37,3%) e numerosos (100%), presença de depósitos esbranquiçados, alaranjados a avermelhados e presença de tilos. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por parênquima linha/faixa marginal. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são numerosos (90,1%) e muito finos (83,3%), na secção tangencial são baixos (100%), estratificação regular.

Didymopanax macrocarpus

Folha: composta digitada (6 folíolos). **Filotaxia:** alterna espiralada. **Forma:** elíptico obovados, **ápice:** retuso ou truncado, **base:** cuneada, assimétrica. **Margem:** inteiras com ondulações. **Nervura:** pinada, podendo ser broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** pecíolos longos, discolors, presença de pelos na parte abaxial, folíolos podem soltar um odor ao serem amaçados.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, escasso. Fibras de paredes finas simulando faixa/linha marginal (microscopia – ver Sonsin et al. 2014). **Vasos:** visível somente sob lente, médios (96,7%), porosidade difusa com tendência para arranjo radial perto a medula, solitários (43%) e múltiplos (57%), muito numerosos (100%). **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível a olho nu, na secção transversal são poucos (100%) e estreitos (86,7%) podendo conter alguns poucos largos, na secção tangencial são baixos (100%). **Outras características:** canal radial.

Enterolobium gummiferum

Folha: composta paribipinada. **Filotaxia:** alterna espiralada, folíolos e foliólulos com filotaxia oposta. **Forma:** elíptico-oblonga, **ápice:** retuso, **base:** obtusa, assimétrica ou arredondada. **Margem:** inteira. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência;** coriácea. **Outras características:** nervura de cor amarelada, folíolos pulvinados, glabros e presença de glândula na base do peciólulo.

Madeira - Parênquima axial: visível a olho nu ou somente sob lente, em sua maioria aliforme losangular, confluyente curto, vasicêntrico, confluyente longo formando faixas (obliquo), linha/faixa marginal. **Vasos:** visível a olho nu, grandes (63,6%), porosidade difusa, predominantemente solitários (81%) e numerosos (80%). **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por linha/faixa marginal. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são numerosos (73,3%) e muito finos (73,3%), na secção tangencial são baixos (100%).

Eriotheca pubescens

Folha: composta digitada (folíolos 3-5). **Filotaxia:** alterna espiralada. **Forma:** obovada, mas pode se encontrar elíptica-obovada, **ápice:** retuso a arredondado, **base:** aguda ou cuneada. **Margem:** inteira podendo conter pequenas ondulações. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** pilosa, folíolo séssil, discolores e pecíolos pulvinados.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, difuso-em-agregados. **Vasos:** visível a olho nu, grandes (83,3%), porosidade difusa; solitários (53,3%) e múltiplos (46,7%), numerosos (63,3%) e muito numerosos (36,7%). **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível a olho nu, na secção transversal são poucos (96,7%) e estreitos (66,7%) podendo conter raios largos bem contrastados, na secção tangencial são baixos (50%) e altos (50%).

Hymenaea stigonocarpa

Folha: composta bifoliolada. **Filotaxia:** alterna espiralada. **Forma:** ovados-elípticos e largo-elíptico, **ápice:** arredondado a agudo, **base:** assimétrica. **Margem:** inteira levemente onduladas. **Nervura** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** discolores, presença de pelos na parte abaxial e folíolos pode ser sesseis ou peciolados.

Madeira - Parênquima axial: visível a olho nu, faixa/linha marginal, aliforme losangular, confluyente curto e vasicêntrico. **Vasos:** visível somente sob lente ocasionalmente a olho nu, grandes (60%) e médios (40%), porosidade difusa; solitários (57,3%) e múltiplos (42,7%), numerosos (56,7%) e muito numerosos (43,3%), poucos depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por linha marginal. **Raios:** visíveis a olho nu, na secção transversal são poucos (100%), estreitos (53,3%) e finos (40%), na secção tangencial são baixos (100%).

Kielmeyera coriacea

Folha: simples. **Filotaxia:** alterna espiralada. **Forma:** elíptica, **ápice:** retuso ou arredondado, **base:** aguda ou obtusa. **Margem:** inteira, com ondulações moderadas a acentuadas. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** pilosas, séssil, e com nervura amarelo-rosadas e presença de exsudação.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, aliforme linear formando, linha marginal, unilateral, vasicêntrico. **Vasos:** visíveis a olho nu, médios (90%), porosidade difusa, solitários (37%) e múltiplos (63%), muito numerosos (100%). **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas e por linha marginal, acúmulo de vasos adjacente a camada de crescimento. **Raios:** visíveis somente sob lente ou indistinto, na secção transversal são numerosos (100%) e muito finos (90%), na secção tangencial são baixos (100%).

Kielmeyera speciosa

Folha: simples. **Filotaxia:** alterna espiralada. **Forma:** elíptica, **ápice:** retuso ou arredondado, **base:** aguda ou obtusa. **Margem:** inteira, com ondulações moderadas a acentuadas. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** pilosas, séssil, e com nervura amarelo-rosadas e presença de exsudação.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, aliforme linear formando linhas, unilateral, confluyente curto, vasicêntrico. **Vasos:** visível a olho nu, médios (56,7%) e grandes (43,3%), porosidade difusa, solitários (61,5%) e múltiplos (38,2%), muito numerosos (100%), podendo conter tilos. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas, acúmulo de vasos adjacente a camada de crescimento. **Raios:** visíveis somente sob lente ou indistinto, na secção transversal são poucos (83,3%) e muito finos (70%), na secção tangencial são baixos (100%).

Machaerium opacum

Folha: composta pinada imparipinada (9-15 folíolos). **Filotaxia:** alterna espiralada, folíolos opostos. **Forma:** elíptico-ovada, **ápice:** agudo, **base:** cordada. **Margem:** inteira com ondulações moderadas. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** folíolos discolors, pilosos que se dobram em uma forma naval.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, ocasionalmente a olho nu, aliforme linear formando linhas, confluyente curto, aliforme losangular, confluyente longo,

difuso-em-agregados, unilateral, vasicêntrico, linha marginal. **Vasos:** visível a olho nu e ocasionalmente sob lente, grandes (63,3%) e médios (33,3%), porosidade difusa, predominantemente solitários (73%), muito numerosos (93,3%) e presença de depósitos esbranquiçados, alaranjados e enegrecidos. **Camada de crescimento:** distinta, mal demarcada ou demarcada por zonas fibrosas e faixa/linha marginal. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são poucos (93,3%) e finos (86,7%), na secção tangencial são baixos (100%), estratificação regular.

Maprounea guianensis

Folha: simples. **Filotaxia:** alternas dística. **Forma:** ovada, **ápice:** agudo com tendência a acuminado, **base:** arredondada. **Margem:** inteira com ondulações leves. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** peciolada, discolor, glândulas na base da nervura principal, presença de exsudação.

Madeira – Parênquima axial: visível somente sob lente, em linhas, aliforme linear formando linhas, difuso, escasso. **Vasos:** visíveis somente sob lente, médios (96,7%), porosidade difusa, múltiplos (51%) e solitários (49%), numerosos (56,7%) e muito numerosos (43,3%), apresenta tilos. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são numerosos (93,3%) e muito finos (86,7%), na secção tangencial são baixos (100%).

Miconia burchellii

Folha: simples. **Filotaxia:** oposta cruzada. **Forma:** estreito-elíptica e ovada, **ápice:** agudo/atenuado ou acuminado, **base:** arredondada ou truncada. **Margem:** inteira com ondulações leves a atenuadas, crenada. **Nervura:** acródroma basal. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** pilosas, peciolada e discoloradas.

Madeira - Parênquima axial: indistinto. Fibras de paredes finas simulando faixa/linha marginal (microscopia – ver Sonsin et al. 2014). **Vasos:** visível somente sob lente, médios (96,7%) porosidade difusa, tendência de arranjo radial perto da medula; solitários (33,4%) e múltiplos (66,6%), muito numerosos (100%). **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visíveis somente sob lente, na secção transversal são poucos (86,7%), finos (56,7%) e muito finos (43,3%), na secção tangencial são baixos (100%) e de difícil visualização.

Ouratea hexasperma

Folha: simples. **Filotaxia:** alterna dística podendo ser espiraladas. **Forma:** lanceolada, lanceolada-ovada, **ápice:** atenuado a agudo, **base:** aguda. **Margens:** inteiras fortemente onduladas. **Nervura:** eucamptódroma, camptódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** pode conter inflorescências secas que originou seu nome popular: vassoura-de-bruxa.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, difuso-em-agregados. **Vasos:** visível somente sob lente, médios (96,7%), porosidade difusa, predominantemente solitários (71,6%), muito numerosos, presença de depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são poucos (100%) e finos (70%), na secção tangencial são baixos (100%).

Pterodon pubescens

Folha: composta imparipinada (18-30 folíolos). **Filotaxia:** alternas espiralada e folíolos alternos dística. **Forma:** oblonga, **ápice:** retuso, **base:** arredondada. **Margem:** inteira. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** folíolos pilosos, discolores com nervura amarelada salientes na face abaxial, presença de gotículas translúcidas.

Madeira - Parênquima axial: visível a olho nu, confluyente longo formando faixas, aliforme losangular, confluyente curto, vasicêntrico e faixa/linha marginal. **Vasos:** visíveis a olho nu e somente sob lente, grandes (76,7%), porosidade difusa; solitários (56,6%) e múltiplos (43,4%), muito numerosos (93,3%), presença de depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por faixa/linha marginal. **Raios:** visíveis somente sob lente, na secção transversal são poucos (80%), finos (63,3%) e muito finos (36,7%), na secção tangencial são baixos (100%), estratificação regular de difícil observação.

Qualea grandiflora

Folha: simples. **Filotaxia:** opostas dística ou verticiladas. **Forma:** oblonga com tendencia a elíptica, **ápice:** retuso ou agudo, **base:** truncada. **Margem:** inteira fortemente ondulada. **Nervura:** broquidódroma, presença de nervura coletora. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** folhas discolores, pilosas na face inferior de folha, glândulas na base do pecíolo, nervuras bem demarcadas e salientes na face abaxial.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, confluyente longo formando faixas, aliforme losangular, confluyente curto. **Vasos:** visível somente sob lente, médios (90%), porosidade difusa; solitários (55%) e múltiplos (45%), muito numerosos (100%), presença de

tilos e depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta a indistinta, mal demarcada, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são poucos (100%), finos (73,3) e estreitos (23,3%), na secção tangencial são baixos (100%).

Qualea multiflora

Folha: simples. **Filotaxia:** oposta dística ou verticilada. **Forma:** oblongas, elípticas, **ápice:** acuminado para agudo, **base:** aguda com tendência a arredondada. **Margem:** inteira levemente onduladas. **Nervura:** pinada ou broquidódroma com nervura coletora. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** presença de glândulas na base do pecíolo, discolorés, presença de pelos na parte abaxial, folha escurecida na parte adaxial.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, confluyente longo formando faixas, confluyente curto, aliforme losangular, unilateral. **Vasos:** visível somente sob lente, médios (86,7%), porosidade difusa; solitários (52%) e múltiplos (48%), muito numerosos (96,7%), presença de depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** indistinta ou mal demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível a olho nu, na secção transversal são poucos (100%), finos (50%) e estreitos (43,3%), na secção tangencial são baixos (100%). **Outras características:** canal traumático.

Qualea parviflora

Folha: simples. **Filotaxia:** oposta dística, e/ou verticilada. **Forma:** elíptica a oblonga, **ápice** acuminado com tendência a agudo, **base** obtuso ou agudo. **Margem** inteira com ondulações moderadas. **Nervura:** broquidódroma com nervura coletora. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** glândulas na base do pecíolo, nervuras salientes na face abaxial, folhas pilosas.

Madeira – Parênquima axial: visível somente sob lente, confluyente curto, confluyente longo formando faixas, aliforme losangular, aliforme linear, vasicêntrico, unilateral. **Vasos:** visível somente sob lente, médios (96,7%), porosidade difusa, múltiplos (62,6%) e solitários (37,4%), muito numerosos (100%), depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta, mal demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível a olho nu, ocasionalmente somente sob lente, na secção transversal são poucos (100%) e finos (86,7%), na secção tangencial são baixos (100%).

Roupala montana

Folha: simples. **Filotaxia:** alternas espiraladas. **Forma:** elíptico-larga, **ápice:** agudo ou acuminado, **base:** aguda. **Margem:** denteada com ondulações. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** folhas pilosas dando um tom amarronzado, pecioladas e discolores, tem um odor característico que se assemelha a carne ou tempero pronto para carne.

Madeira - Parênquima axial: visível a olho nu, escalariformes. **Vasos:** visível somente sob lente, médios (76,7%), porosidade difusa, arranjo tangencial; solitários (66%) e múltiplos (34%), muito numerosos (100%). **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por uma aproximação do parênquima axial. **Raios:** visíveis a olho nu, na secção transversal são muito poucos (100%) e largos (100%), na secção tangencial são altos (100%).

Stryphnodendron adstringens

Folha: composta, bipinada. **Filotaxia:** alterna espiralada, folíolo oposto, folíolo alterno. **Forma:** elíptica, **ápice:** arredondando, **base:** obtusa e/ou arredondada. **Margem:** inteira levemente ondulada. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** nervura saliente na face inferior, presença de glândulas no pecíolo, foliólulos glabros.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, confluyente curto ao longo, aliforme losangular e faixa/linha marginal irregular. **Vasos:** visível a olho nu, grandes (83,3%), porosidade difusa, solitários (58,8%) e múltiplos (41,2%), numerosos (63,3%) e muito numerosos (36,7%), tilos e de depósitos amarelados e esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visíveis somente sob lente, na secção transversal são poucos (96,7%) e muito finos (83,3%), na secção tangencial são baixos (100%).

Tachigali aurea

Folha: composta, paripinada (6-12 folíolos). **Filotaxia:** alterna espiralada, folíolos opostos. **Forma:** ovados, ovados-lanceolados, **ápice:** acuminado para agudo, **base:** truncada. **Margem:** inteira ondulada. **Nervura:** camptódroma, pode ser também cladódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** folíolos pilosos nas duas faces, pecíolo acinzentado, presença de exsudação e folhas jovens com uma coloração acinzentada.

Madeira - Parênquima axial: visível somente sob lente, pouco contrastado, aliforme losangular vasicêntrico. **Vasos:** visível somente sob lente, médios (86,7%) porosidade difusa, predominantemente solitários (72,2%), numerosos (90%), presença de tilo. **Camada de**

crescimento: distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visíveis somente sob lente, na secção transversal são poucos (83%), muito finos (70%) e estreitos (26,7%), na secção tangencial são baixos (100%).

Tachigali subvelutina

Folha: compostas, paripinadas (6-10 folíolos). **Filotaxia:** alterna espiralada, folíolos opostos ou alternos. **Forma:** oblonga, **ápice:** acuminado para caudado, **base:** truncada para arredondada e assimétrica. **Margem:** inteira. **Nervura:** camptódroma. **Consciência:** coriácea. **Outras características:** folíolos discolores, pilosos dando uma coloração amarronzada, os folíolos jovens possuem uma coloração marrom-alaranjada.

Madeira – Parênquima axial: indistinto ou visível somente sob lente, aliforme losangular, vasicêntrico, escasso. **Vasos:** visíveis somente sob lente, ocasionalmente a olho nu, pequenos (77%) e médios (22,3%), porosidade difusa, solitários (57,5%) e múltiplos (42,5%), numerosos (90%), desobstruídos. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são poucos (100%), muito finos (83,3%), na secção tangencial são baixos (100%).

Terminalia argentea

Folha: simples. **Filotaxia:** alternas espiraladas. **Forma:** elípticas a ovadas, **ápices:** agudos ou acuminados, **base:** obtusa a aguda ou cuneada. **Margem:** inteira ondulações acentuadas e ciliadas. **Nervura:** broquidódroma. **Consistência:** coriácea. **Outras características:** folhas discolores e pilosas, glândulas nos pecíolos, nervura central amarelada.

Madeira - Parênquima axial: visível a olho nu, confluyente curto ao longo formando faixas, aliforme losangular, vasicêntrico, difuso-em-agregados. **Vasos:** visível somente sob lente podendo ser visível a olho nu, médios (73,3%) e grandes (26,7%), porosidade difusa, múltiplos (51,3%) e solitários (48,7%), numerosos (86,7%), presença de tilos, depósito esbranquiçado. **Camada de crescimento:** distinta, demarcada por zonas fibrosas. **Raios:** visível somente sob lente, na secção transversal são numerosos (83,3%), finos (60%) e muito finos (36,7%), na secção tangencial são baixos (100%). **Outras características:** canal traumático (ocasionalmente).

Vochysia thyrsoidea

Folha: simples. **Filotaxia:** verticilada. **Forma:** obovada, elíptico-obovada, **ápice:** retuso, **base:** aguda revoluta. **Margem:** inteira ondulada, revoluta. **Nervura:** broquidódroma.

Consistência: coriácea. **Outras características:** folhas discolores e glabras, nervura principal saliente na parte abaxial.

Madeira – Parênquima axial: visível a olho nu, confluyente longo formando faixas, confluyente curto, aliforme losangular, vasicêntrico. **Vasos:** visíveis a olho nu, grandes (86,7%), porosidade difusa, solitários (58,3%) e múltiplos (41,7%), muito numerosos (56,7%) e numerosos (43,3%), presença de tilos e depósitos esbranquiçados. **Camada de crescimento:** distinta, mal demarcada por zonas fibrosas. **Raio:** visível a olho nu, na secção transversal são poucos (93,3%), finos (73,3%), na secção tangencial são baixos (100%). **Outras características:** canal traumático e (muita) exsudação.

CAPÍTULO 2

Classifying Cerrado tree species through the bark and transverse sections from wood branches using near-infrared spectroscopy and macroscopy analysis

Ana Gabriela Pinheiro de Souza¹, Lúcio Flávio de Alencar Figueiredo², Júlia Sonsin-Oliveira¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas – Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF 70919-900, Brazil

² Universidade de Brasília, Department of Botany, Biology Institute, Brasília, 70910-900, DF, Brazil

Chapter written according to Wood Science and Technology journal standards.

Classifying Cerrado tree species through the bark and transverse sections wood branches using near-infrared spectroscopy and macroscopy analysis

Ana Gabriela Pinheiro de Souza (<https://orcid.org/0000-0001-8682-3056>)¹, Lúcio Flávio de Alencar Figueiredo (<https://orcid.org/0000-0001-8868-1717>)², Júlia Sonsin-Oliveira (<https://orcid.org/0000-0002-4905-8145>)¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF 70919-900, Brazil

² Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 70910-900, DF, Brazil.

Corresponding author: Ana Gabriela Pinheiro de Souza – ana.pinheirounb@gmail.com

Abstract

Near-infrared spectroscopy (NIRS) has been used successfully for discriminating tree species through spectra analysis. This study aimed to assess the feasibility of distinguishing the branch wood of seven Cerrado tree species: *Blepharocalyx salicifolius*, *Bowdichia virgilioides*, *Copaifera langsdorffii*, *Dalbergia miscolobium*, *Machaerium opacum*, *Didymopanax macrocarpus*, and *Ouratea hexasperma* based on spectra analysis and conjunction with macroscopic anatomy (MA) analysis. Thirty samples with ~4 cm in diameter for each species were collected. MA analyses and spectra were acquired on the bark and non-sanded (TNS) and sanded (TS) transverse section. Spectra analysis was performed using the triplicates and average spectra. Linear discriminant analysis (LDA) achieved a 97% accuracy in seven species discrimination and 99% in family discrimination using the TS section with average treated spectra. Spectra from bark and TNS wood had over 90% accuracy, making them suitable for species differentiation. Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) yielded satisfactory results for five species on the TS. Notably, *O. hexasperma* exhibited better results when analyzing spectra from the bark ($R^2=0.82$). Its bark did not peel off, and the bark on branches was not as deeply fissured. Instead, *D. miscolobium* performed well on the TNS ($R^2=0.84$), possibly due to the dark coloration caused by wood oxidation, the greater quantity of axial parenchyma, and the large vessels mostly obstructed by deposits with different colors. LDA separated *B. virgilioides* by locality with 90% accuracy. NIRS confirmed its power to discriminate Cerrado tree species based on spectra acquired from branches on TNS wood.

Key words: NIRS, wood discrimination, wood anatomy, Cerrado.

Introduction

Tree species identification can occur by the differentiation of the wood, leaves, fruits, and flowers. When it concerns the wood, it can be done by using identification keys with

macroscopic characteristics, which are scarce for Cerrado species, capable of being observed either with the naked eye or through a 10x magnification lens, or identification using microscopic characteristics, in which the use of laboratories is necessary (Zenid and Ceccantini 2007). Nevertheless, some identification requires specialists with years of experience and study (Wheeler and Bass 1998), which becomes a problem if the country border is very extensive, like Brazil.

An example of this problem is the separation of *Dalbergia nigra* (Vell.) (Brazilian rosewood) wood and *Swietenia macrophylla* King. (Brazilian Mahogany). Both these species are listed in the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) Appendix I and II, respectively (CITES 2023). Moreover, they both feature on the IUCN Red List (CITES 2023), in which *D. nigra* is classified as vulnerable, whereas *S. macrophylla* is classified as endangered. Importantly, both these species have significant commercial value (Veríssimo et al. 1995; Gasson et al. 2010).

In their study, Gasson *et al.* (2010) reported that, although it is difficult to distinguish the *Dalbergia* genus, it is possible to separate some of the species, this is the case for *D. cearenses* Ducke and *D. miscolobium* Benth.. The authors affirm that, for non-specialists on wood identification, the differentiation hardly occurs, even when using the wood microscopic anatomical characteristics, in which *D. nigra* ends up being identified as other species of the genus. In the case of *S. macrophylla*, for a specialist it is easier to do an identification. However, for a non-specialist, it can occur, but this species might be confused for *Carapa guianensis* Aubl. (crabwood), *Cedrela odorata* L. (cedar) and *Micropholis melinoniana* Pierre (curupixa) (see Pastore et al. 2011).

Thus, when conventional methods are not sufficient to perform the wood identification, the alternative is to employ technologies that increase this differentiation (Gasson, 2011), for example the Near infrared Spectroscopy (NIRS) (Dormontt et al. 2015). This technique employs a non-destructive analysis to detect the chemical composition of wood, enabling the analysis of organic matter (Tsuchikawa and Schanninger 2013). It is considered accurate and provides fast results and requires minimal sample preparation (Gherardi Hein et al. 2010; Pastore et al. 2011).

NIRS is currently used in wood quality analysis and species identification (Pastore et al. 2011; Muñoz et al. 2012). The quality of species identification using NIRS is remarkable and has a low error rate in classification (Gherardi Hein et al. 2010; Pastore et al. 2011; Dormontt et al. 2015). For example, the study by Adedipe et al. (2008) reported a fast and correct identification of red oak (*Quercus rubra*) and white oak (*Quercus alba*). According to

Pastore et al. (2011) the degree of separation provided by low error prediction suggests a high level of accuracy, and a low probability of misclassifying using NIRS. Also, NIRS analysis developed models have a high potential to be applied in traffic control and negotiation activities related to combating illegal timber and deforestation (Pastore et al. 2011; Silva et al. 2018).

NIRS can be employed in other contexts, including species identification while using leaves (Castillo et al. 2008); detecting chemical changes in heat-treated wood (Windeisen et al. 2009); archaeological wood identification (Gonçalves et al. 2021); and even differentiation in charcoal samples (Muñiz et al. 2016; Vieira *et al.* 2019). In addition, NIRS has been tested for its ability to identify geographic location of wood and proved to be efficient (Prades et al. 2012; Silva et al. 2018).

In sum, this technology is an efficient option for taxonomic purposes due to the easy use of the machinery, as well as speed response. However, more studies are still needed for the improvement of this technique, database creation and chemical profiles, as well as statistical methods that can be applied for classification at the species level (Dormontt et al. 2015). Still, it is important to note that the use of statistical models requires robust modeling with many samples for significant variation, consequently their heterogeneity (Silva et al. 2018).

Since the 1990s, the Cerrado has been suffering from a constant and increasing action of burnings and it is already possible to observe a hotter and increasingly drier savanna (Wenzel, 2021). Consequently, is one of the most affected Biomes regarding deforestation due to burning intended for agriculture purposes, such as converting the land for plantations and livestock farming (Strassburg et al. 2017; Souza et al. 2019; Eberhard et al. 2021).

Differently from the trees in the Amazon Biome, the timber from trees in this biome is of different economic interest, as it is mainly used for charcoal production in pottery and as fuel for subsistence (Paula, 2005; Pasa 2011). Studies on charcoal and on wood anatomy are still scarce for Cerrado species, despite the increasing number of scientific papers on Cerrado wood (see Sonsin et al. 2014; Gonçalvez et al. 2016, 2018; Faria et al 2020). Nevertheless, there is a lack of studies with description and distinction of tree species, including identification using NIRS (see Muñiz et al. 2013; Nisgoski et al. 2021).

From this scenario, the creation of a high-quality database for tree species identification is indispensable. This database can assist in environmental restoration, or maintenance of protected areas, as well as for the monitoring of illegal timber (Dormontt et al. 2015). To enable these studies on Cerrado species, it is important to prioritize minimal or preferably no alterations to the environment to minimize significant environmental impacts. In such cases,

the use of NIRS is a good option, because it can also be applied to branches and small pieces of wood, thus avoiding the removal of individuals. It is important to prioritize key species, such as those with medium and high densities since the majority of Cerrado wood is predominantly used for charcoal production and fuelwood for subsistence.

Therefore, this study aimed to generate a spectra database of spectra collected with NIRS for six medium-to high-density woods and one low-density wood from the Cerrado Biome tree species in transverse section (sanded and non-sanded), and bark. In addition, we developed a discrimination model to determine the reliability of different spectrum acquisition methods in differentiating species, locations, and collection physiognomy. This allowed us to test whether wood preparation for spectrum acquisition is necessary and to assess whether the accuracy remains high across different wood densities.

Materials and methods

Sample area, collection, and preparation

Branches samples were collected in three regions of the Federal District and Goiás - Brazil (Fig. 1): Fazenda Água Limpa, University of Brasília (FAL-UnB) (-15. 948042, -47.934215); Ecological Reserve of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) (-15.947867, -47.878507); Park Way (-15.937126, -47.959590); along route L4 (-15.806010, -47.857247) located in Brasília, Federal District; and in a private area near the city of Cocalzinho called Edilândia, Goiás (-15.785564, -48.552602).

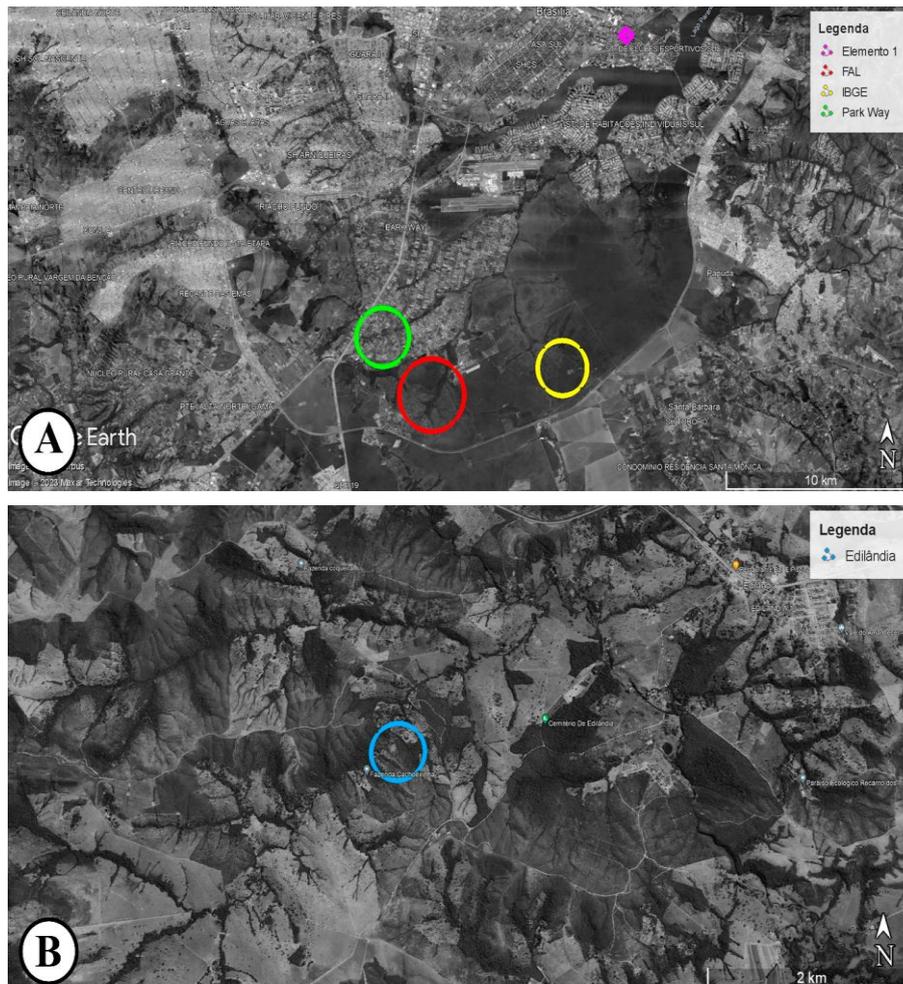


Fig. 1 Locations of branches collected in five areas of the Cerrado biome. **A** map of four locations: Fazenda Água Limpa (FAL - UnB) in the red circle, Ecological Reserve of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) in yellow circle, along route L4 in the pink circle, and Park Way in the green circle; **B** private area in Cocalzinho – Goiás in the blue circle.

Branches of seven Cerrado species have been selected and separated based on their wood density. High density: *B. virgilioides*, *D. miscolobium*, and *C. langsdorffii*; medium density: *D. macrocarpus*, *M. opacum*, and *O. hexasperma*; low density: *B. salicifolius*. The work of Melo (2002) was used to categorize the densities.

The three species with high density and ecological importance in Cerrado were selected, as follows: *Bowdichia virgilioides* Kunth (sucupira-preta), 0.83 g/cm³ (Silva et al. 2015), which is used to produce luxury furniture, fences, and boats because of its high durability (Smiderle and Sousa, 2003); *Dalbergia miscolobium* Benth. (jacaranda-do-cerrado), 0.77 g/cm³ (Vale et al. 2002), despite being a tree with a small trunk diameter, its wood can be used to make floorboards and wood boxes, because of its color (Carvalho, 2014); *Copaifera langsdorffii* Desi. (copaíba ou Pau d'óleo), 0.75 g/cm³ (Leite et al. 2012), is used for production of "copaíba"

oil extracted from its trunk, in addition the wood of this tree is utilized for making furniture with a characteristic aroma (Alonso, 1998; Santos et al. 2021).

We also collected three species with medium density, as follows: *Machaerium opacum* Vogel (jacarandá-cascudo), 0.65 g/cm³ (Gotsh et al. 2010), which is an adaptation for natural fire because of its thick bark, and with resistant wood used in luxury cabinetmaking (Silva Júnior, 2012), and woodfuel and charcoal, because of its calorific potential (Gotsch et al, 2010); *Ouratea hexasperma* (A.St.-Hil.) Baill. (vassoura-de-bruxa), 0.50 g/cm³ (Vale et al. 2002), commonly used in traditional medicine (Silva et al. 2013), but the potential use of wood can be explored; *Didymopanax macrocarpus* (Cham. and Schltld.) Seem. (mandiocão), 0.68 g/cm³ (Vale et al. 2002), wood can be used to make boxes, toys, and panels (Carvalho, 2014).

The only tree with low density collected is *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg (murta), with a density of 0.46 g/cm³ (Vale et al. 2002). It is primarily used for its medicinal properties due to the oxidizing compounds found in the bark (Habermann et al. 2016). However, its wood is rarely used for commercial purposes. Nevertheless, identifying this species is difficult, as is the case with most Myrtaceae, and NIR technology can be a valuable option.

Branch wood samples from at least 30 different trees of each species were collected. For each species, these trees were 15 m apart from each other (to avoid regrowth). The collected branch was 4 cm diameter (standardized on the opening of the pruner). The species identification was performed in the field with the help of the identification key of Silva Júnior (2012) and by Dr. Christopher W. Fagg. For the collection, a lopper, saw, and chain saw were used; the choice of equipment depended on the hardness of the wood, and size of the tree. The branch and exsiccate samples were deposited in the wood collection (UBw) and herbarium (UB) of the University of Brasilia, the vouchers for the collections are in Supplementary Information I. SISGEN n° R40EA09.

Wood branch sample preparation

After collection, the branch samples were cut into smaller pieces for better handling and spectra collection. They were sanded in a transverse section on 80-grit sandpaper to ensure the uniformity of the area. The other transverse section was left only with the saw's cut to determine whether sample preparation was required. According to Silva Júnior et al. (2014), the bark of the branches collected was described. Lichens and other potential factors that could

impact the spectra acquisition were removed from the bark, looking to ensure its integrity on spectra collected.

The wood macroscopic anatomy analysis included the preparation of branch samples for transverse and tangential longitudinal sections. Transverse sections were obtained by sawing with a band saw and handsaw, followed by sanding using a sequence of grits ranging from 200 to 1500.

Images were captured using a Leica EZ4 D digital camera and a Dino-lite/1.3MP (AF4515 Series) portable magnifier, both from the Forest Products Laboratory (LPF). Descriptions and measurements were based on IAWA Committee (1989) and Florsheim et al. (2020), with necessary adjustments due to the smaller branch size samples compared to standard lumber. For instance, vessel density was measured per 4 mm², as used at LPF interactive identification Key.

Quantitative analyses used Image-Pro Plus software (6.0), which included 30 measurements for each macroscopic anatomical characteristic, including vessel element diameter (VDi) (mm), vessel density, ray frequency (mm), ray width (mm) in the transverse plane, and ray height (mm) in the tangential section. Qualitative data included observations of arrangement, presence of deposits, type of axial parenchyma, and presence of storied rays. The abundancy categorization of axial parenchyma followed in the classification of Alves & Angyalossy-Alfonso (2002).

Near Infrared Analysis (NIRS)

Spectra were collected from bark and non-sanded and sanded transverse sections from wood branches using a portable NIRS (TIDA-00554 DPL, TEXAS Instruments). The wavelength range for spectra acquisition was 900 to 1700 nm, with 10 nm intervals, and each sample was read three times, at the same position on the bark and on the transverse, section non sanded (TNS) and sanded (TS) on each sample.

For each of the seven species, approximately 30 to 43 samples were analyzed by species on the bark, TS, and TNS. The precise sample numbers by species were 30 to *Blepharocalyx salicifolius*, 35 to *Bowdichia virgilioides*, 33 to *Copaifera langsdorffii*, 43 to *Dalbergia miscolobium*, 32 to *Didymopanax macrocarpus*, 41 to *Machaerium opacum* and 30 to *Ouratea hexasperma*. Spectra acquisition on TNS and TS was performed to verify the impact of polishing on species and family discrimination, and whether the polishing work would be necessary.

Data analysis

The collected spectra were analyzed using The Unscrambler X[®] (v.10.2) package, without (raw) and with treatment. Initially, the raw and treated spectra were analyzed in triplicates, followed by the calculation of averages. Four variables (categories) were used for discrimination: family, species, site, and physiognomy. The first step in spectra analysis was to create plot lines to verify the spectra quality and repeatability.

Principal component analysis (PCA) was used to verify the quality of the acquisitions and categorization, using 11 components. Linear discriminant analysis (LDA) targeted to classify samples and it was performed utilizing 20 components. The primary objective was to discriminate the samples based on their taxonomic family and species.

Partial least square - discriminant analysis (PLS-DA) is an adaptable algorithm that can be used for predictive and descriptive modeling purposes, in addition to facilitating the discriminative selection of variables. Initially PLS-DA was performed with 20 components.

We tested different treatments to determine the most suitable for our classification. It was examined common spectra transformations, such as standard normal variate (SNV), normalization, multiplicative scatter correction (MSC), extended multiplicative Signal Correction (EMSC), 1st and 2nd derivative transformation, and Savitzky-Golay (SG) smoothing. These methods were widely used in similar studies to improve the quality of spectral data (see Adadipe et al. 2008; Prades et al. 2010; Braga et al. 2011; Pastore et al. 2011; Vimal et al. 2014; Snel et al. 2018; Diniz et al. 2019; Rocha et al. 2021). We also explored combinations of these methods to assess whether classification accuracy could be further improved.

Results

The description of wood macroscopic anatomy and the description of the bark were summarized in Table 1. A total of 243 wood branch samples were used to collect spectra with NIRS, producing a total of 1089 triplicates spectra. After averaging, this was reduced to 363 spectra. These spectra, as well as the average spectra were plotted, and plot line was generated (Supplementary information II). However, the plot line was insufficient to discriminate among the taxonomic families and species.

Table 1 Macroscopic description of wood by family and species, focusing on axial parenchyma, vessels, rays, and density.

Family	Species	Axial Parenchyma	Vessels	Rays	SS	WOx	Bark	Density (g/cm ³)
Araliaceae	<i>Did. macrocarpus</i>	paratracheal, few	MS, tendency to radial arrangement near the pith, VNu	F, Na, low	RC	A	brown, with cracks, vertical ridges and scaly	0.68
Fabaceae	<i>Bow. virgilioides</i>	paratracheal, marginal line, abundant	MS, Nu to VNu, white/yellow deposits, few tyloses	F, Th to VTh, low, regular to irregular storied	A	A	grayish to brownish, reticulated, and creaked, and may contain thick plates	0.83
	<i>Cop. langsdorffii</i>	paratracheal, marginal line, few	L to MS, Nu, few whitish deposits, tyloses	F, Th, low	AC	A	reddish brown, scaly	0.75
	<i>Dal. miscolobium</i>	paratracheal, marginal line/band, very abundant	L, Nu, whitish, orange to reddish deposits, tyloses	N, VF, low, regular storied	A	P	grayish with shades of yellow, thick cork, cracked and have small thick plates	0.77
	<i>Mac. opacum</i>	paratracheal, apotracheal, marginal line, very abundant	L to MS, VN, whitish, orange, and blackish deposits	F, Th, low, regular storied	A	P	grayish, very deep vertical fissures, high and discontinuous ridges	0.65
Myrtaceae	<i>Ble. salicifolius</i>	apotracheal, very abundant	MS, Nu to VNu, little obstructed by whitish deposits	Nu, EF, low	A	A	grayish brown, cracked, may be reticulated	0.46
Ochnaceae	<i>Our. hexasperma</i>	apotracheal, very abundant	MS, VN, presence of whitish deposits	F, Th, low	A	A	yellowish or grayish, rough with cracks; thick coats	0.50

SS: secretory structure; WOx: wood oxidation; MS: medium-sized (0,051 - 0,100 mm); L: large (0,11 - 0,200 mm); N: numerous for vessels (40 - 100 V / 4 mm²) and for ray (0,051 - 0,08 R / mm); VN: very numerous (>100 V / 4 mm²); F: few (26 - 50 R / mm); EF: extremely fine (< 0,015 mm); Th: thin (0,031 - 0,05 mm); VTh: very thin (0,015 - 0,03 mm); Na: narrow (0,051 - 0,100 mm); A: absent; P: present; RC: radial canal ; AC: axial canal.

Data analysis: family

Analysis of the spectra collected from bark and TNS, and TS branch samples, sorted by family, was conducted using PCA and LDA with both raw data (Fig. 2) and transformed

(Fig. 3). PCA of the raw data explained between 75 to 90% the spectra variance, while on transformed data, the explanation increased to 85 to 95%. However, a distinct group was only observed on PCA of spectra collected from the TS using transformed data. LDA with both triplicate and average raw and transformed data for each (Figs. 4-6) had an accuracy ranging from 87.3% to 95.6% with raw data, and from 92.4% to 99.2% with treated spectra. The confusion matrices created by the LDA data are presented in Figs. 4 to 6.

Data analysis: species

Analysis of the spectra collected from the bark, TNS, and TS, were used to differentiate the species using PCA with both raw data (Fig. 7) and transformed data (Fig. 8). PCA of the raw data explained approximately 80% of the variance, while the transformed data explained more than 90%. It was not possible to observe the formation of distinct clouds, however, on PCA of spectra collected from the TS with the transformed data there is a tendency toward grouping.

LDA results with both triplicate and average data, using both raw and transformed data are presented in Figs. 9 to 11. The accuracy with raw data ranged from 83.5% to 95%, and from 90.8% to 97.5% with treated spectra. Confusion matrices produced by LDA can be found in Figs. 9 to 11.

Partial Least Square – Discriminant Analysis (PLS-DA)

The results of the PLS-DA for the spectra collected from the bark, non-sanded and sanded transverse sections are presented in Tables 2 to 4. These tables display the number of factors used in each analysis, the R^2 of the validation and the standard error of cross-validation in the calibration (SECV).

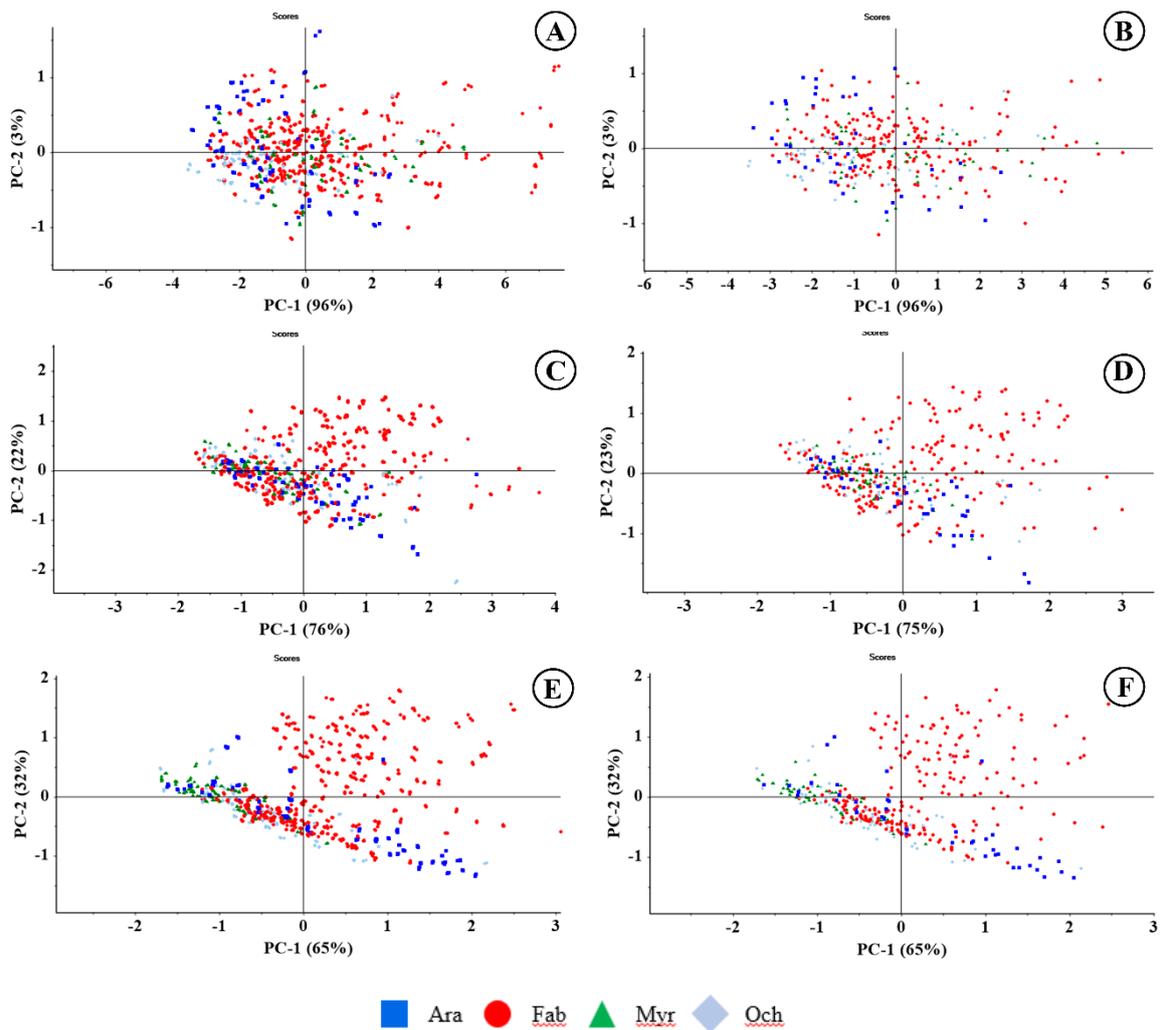


Fig. 2 PCAs on raw spectra acquired with the portable spectrometer from wood branch samples of seven tree species, from three sections: the bark (**A, B**), non-sanded (**C, D**), and sanded (**E and F**) transverse section. **A, C, E** used the triplicates of the spectra ($n=1089$). **B, D, F** used the spectra average ($n=363$). Ara: Araliaceae ($nt=135$; $na=45$), Fab: Fabaceae ($nt=645$; $na=215$), Myr: Myrtaceae ($nt=144$; $na=48$); Och: Ochnaceae ($nt=165$; $na=55$). nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

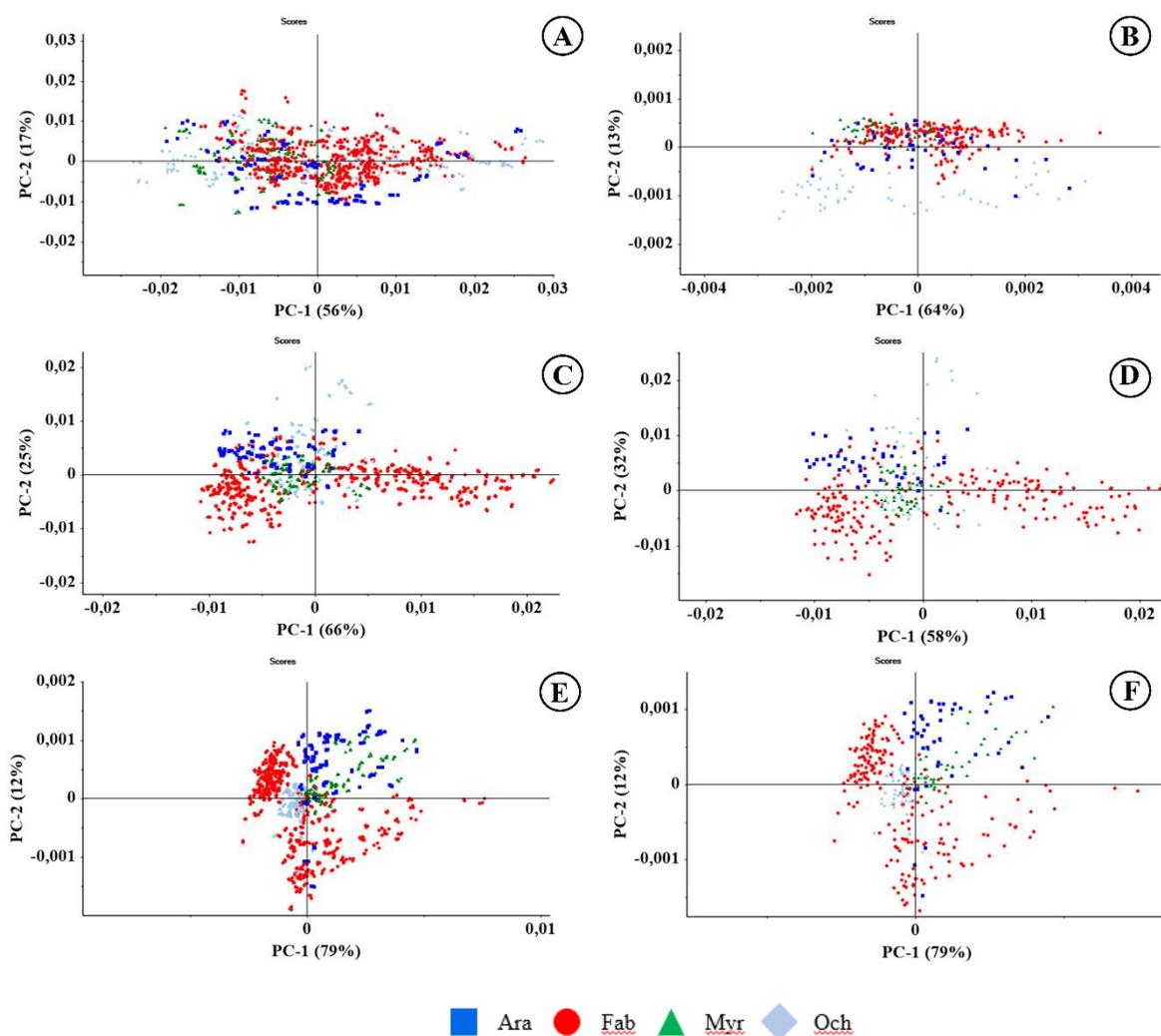


Fig. 3 PCA of the treated spectra from the bark (A, B), non-sanded (C, D), and sanded (E, F) wood from branch samples of seven tree species separated by family. A, C, E used the triplicates of the spectra ($n=1089$). B, D, F used the spectra average ($n=363$). Ara: Araliaceae ($nt=135$; $na=45$), Fab: Fabaceae ($nt=645$; $na=215$), Mvr: Myrtaceae ($nt=144$; $na=48$); Och: Ochnaceae ($nt=165$; $na=55$). Best spectra treatments used: i) bark: triplicate Savitzky-Golay and MSC, average Savitzky-Golay, 2nd derivative and EMSC; ii) non-sanded transverse section: triplicates and average Savitzky-Golay, 1st derived, and MSC; iii) sanded transverse section: triplicate and average Savitzky-Golay 2nd derivative, and MSC. nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

	Fab	Och	Myr	Ara		Fab	Och	Myr	Ara	
Ara	47	3		126		5	2		38	Ara
Myr			138	1		7		40		Myr
Och	71	160		TriPLICATE non-treated spectra. 87.33% acc			52		Average non- treated spectra. 90.63% acc	Och
Fab	527	2	6			203	1	8		Fab
Ara	15	2		128		2			40	Ara
Myr	12		133			3		46	1	Myr
Och		162		TriPLICATE treated spectra. SG_MSC. 95.59% acc			55		Average treated spectra. SG2_EMSC. 96.69% acc	Och
Fab	618	1	11			210		2		Fab
	Fab	Och	Myr	Ara		Fab	Och	Myr	Ara	

Fig. 4 Confusion matrix for taxonomic families based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from the bark of branch samples, using the triplicate spectra ($n=1089$) and the spectra average ($n=363$). Ara: Araliaceae ($nt=135$; $na=45$), Fab: Fabaceae ($nt=645$; $na=215$), Myr: Myrtaceae ($nt=144$; $na=48$); Och: Ochnaceae ($nt=165$; $na=55$). Triplicate - Savitzky-Golay and MSC. Average - Savitzky-Golay, 2nd derivative and EMSC. nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

	Fab	Och	Myr	Ara		Fab	Och	Myr	Ara	
Ara	42	4	13	114		13	3	3	42	Ara
Myr	22		125	20		5		45		Myr
Och	11	158		Triplicates of non- treated spectra. 88.8% acc		3	51		Average of non-treated spectra. 91.46% acc	Och
Fab	570	3	6			194	1			Fab
	Fab	Och	Myr	Ara		Fab	Och	Myr	Ara	
Ara	24		8	118		5		1	41	Ara
Myr	11		128	13		3		47	1	Myr
Och	7	157		Triplicates of treated spectra. SG_MSC. 92.38% acc		2	55		Average of treated spectra. SG_MSC. 95.87% acc	Och
Fab	603	8	8			205				Fab
	Fab	Och	Myr	Ara		Fab	Och	Myr	Ara	

Fig. 5 Confusion matrix for taxonomic families based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from non-sanded transverse sections from wood branch samples, using the triplicate spectra ($n=1089$) and the spectra average ($n=363$). Ara: Araliaceae ($nt=135$; $na=45$), Fab: Fabaceae ($nt=645$; $na=215$), Myr: Myrtaceae ($nt=144$; $na=48$); Och: Ochnaceae ($nt=165$; $na=55$). Triplicates and average - Savitzky-Golay, 1st derived, and MSC. nt : number of triplicate spectra, na : number of average spectra.

Ara	6	2		120	1	1		37	Ara
Myr	8	1	142	20	1		48	5	Myr
Och	12	151		TriPLICATE non-treated spectra. 93.76% acc	1	50		Average non- treated spectra. 95.59% acc	Och
Fab	619	11	2		212	4			Fab

Ara	2	2	3	122			1	43	Ara
Myr			141	6			47		Myr
Och	1	159		TriPLICATE treated spectra. SG2_MSC. 97.7% acc		55		Average treated spectra. SG2_MSC. 99.17% acc	Och
Fab	642	4			215				Fab

Fab Och Myr Ara Fab Och Myr Ara

Fig. 6 Confusion matrix for taxonomic families based on non-treated (top rectangles) and treated spectra acquired (bottom rectangles) from sanded transverse section of branch samples, using the triplicates of the spectra ($n=1089$) and the spectra average ($n=363$). Ara: Araliaceae ($nt=135$; $na=45$), Fab: Fabaceae ($nt=645$; $na=215$), Mry: (Myrtaceae $nt=144$; $na=48$); Och: Ochnaceae ($nt=165$; $na=55$). Triplicate and average - Savitzky-Golay 2nd derivative, and MSC. *nt*: number of triplicate spectra, *na*: number of average spectra.

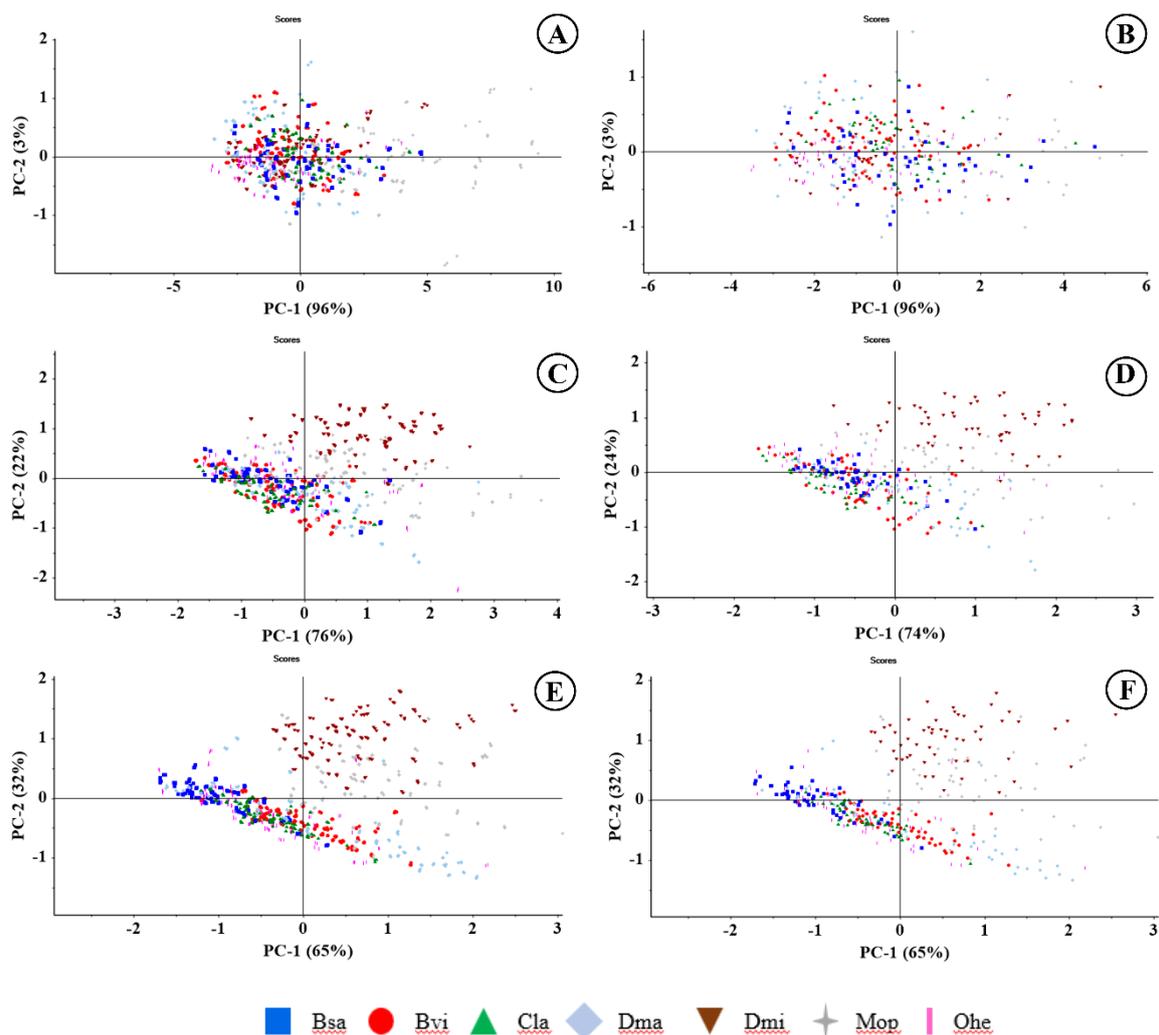


Fig. 7 PCA on raw spectra acquired with the portable spectrometer from wood branch samples of seven tree species, from three sections: the bark (**A**, **B**), non-sanded (**C**, **D**), and sanded transverse (**E**, **F**). **A**, **C**, **E** used triplicates of the spectra ($n=1089$) and **B**, **D**, **F** used the spectra average ($n=363$). *Bsa*: *Blepharocalyx salicifolius* ($t=144$; $na=48$), *Bvi*: *Bowdichia virgilioides* ($nt=180$; $na=60$), *Cla*: *Copaifera langsdorffii* ($nt=135$; $na=45$), *Dma*: *Didymopanax macrocarpus* ($nt=135$; $na=45$), *Dmi*: *Dalbergia miscolobium* ($nt=165$; $na=55$), *Mop*: *Machaerium opacum* ($nt=165$; $na=55$), *Ohe*: *Ouratea hexasperma* ($nt=165$; $na=55$). nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

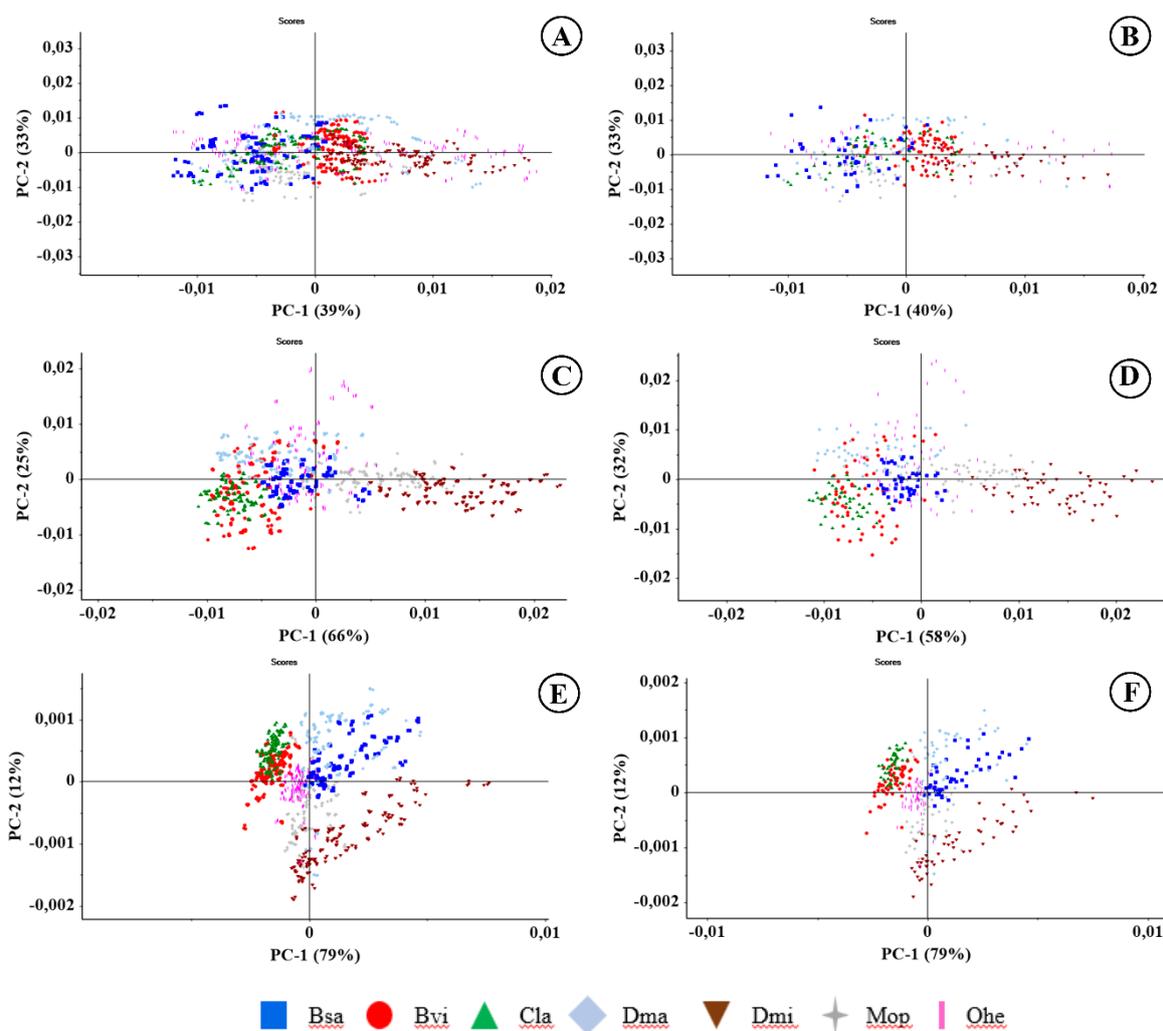


Fig. 8 PCA of the treated spectra acquired with the portable spectrometer from wood branch samples of seven tree species, from three sections: the bark (A, B), non-sanded (C, D), and sanded transverse sections (E, F). A, C, E used triplicates of the spectra ($n=1089$) and B, D, F used the spectra average ($n=363$). Bsa: *Blepharocalyx salicifolius* ($nt=144$; $na=48$), Bvi: *Bowdichia virgilioides* ($nt=180$; $na=60$), Cla: *Copaifera langsdorffii* ($nt=135$; $na=45$), Dma: *Didymopanax macrocarpus* ($nt=135$; $na=45$), Dmi: *Dalbergia miscolobium* ($nt=165$; $na=55$), Mop: *Machaerium opacum* ($nt=165$; $na=55$), and Ohe: *Ouratea hexasperma* ($nt=165$; $na=55$). Treatments used: i) bark - triplicate Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC, average Savitzky-Golay 2nd derivative, and EMSC; ii) non-sanded – triplicate and average Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC; iii) sanded – triplicate and average Savitzky-Golay, 2nd derivative, and MSC. nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

	<i>Bvi</i>	<i>Mop</i>	<i>Dmi</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>	<i>Dma</i>	<i>Cl</i>		<i>Bvi</i>	<i>Mop</i>	<i>Dmi</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>	<i>Dma</i>	<i>Cl</i>	
<i>Cl</i>	7	7			6	7	113		7	2	1		2	3	40	<i>Cl</i>
<i>Dma</i>	6	3		3		123	9		4	1		1		40		<i>Dma</i>
<i>Bsa</i>	6	17	1		126		2		2	4			46		2	<i>Bsa</i>
<i>Ohe</i>				160								54				<i>Ohe</i>
<i>Dmi</i>		6	159							2	54					<i>Dmi</i>
<i>Mop</i>		132		Triplet non-treated spectra. 88.44% acc						46		Average non-treated spectra. 91.74% acc				<i>Mop</i>
<i>Bvi</i>	162		5						53							<i>Bvi</i>

<i>Cl</i>	2	1			4	2	125		1	1			1	1	44	<i>Cl</i>
<i>Dma</i>	3	3			2	125	2		1	1			1	42		<i>Dma</i>
<i>Bsa</i>	7	6			134	1	6		1				45	1		<i>Bsa</i>
<i>Ohe</i>				165		3						55		1		<i>Ohe</i>
<i>Dmi</i>	1	15	160			2				5	53					<i>Dmi</i>
<i>Mop</i>	6	140	5	Triplet treated spectra. SG_MSC spectra. 92.75% acc					3	48	2	Average treated spectra. SG_MSC spectra. 93.94% acc				<i>Mop</i>
<i>Bvi</i>	161								54							<i>Bvi</i>

Fig. 9 Confusion matrix for species based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from the bark of branch samples, using the triplicate spectra ($n=1089$) and the spectra average ($n=363$). *Bsa*: *Blepharocalyx salicifolius* ($nt=144$; $na=48$), *Bvi*: *Bowdichia virgilioides* ($nt=180$; $na=60$), *Cl*: *Copaifera langsdorffii* ($nt=135$; $na=45$), *Dma*: *Didymopanax macrocarpus* ($nt=135$; $na=45$), *Dmi*: *Dalbergia miscolobium* ($nt=165$; $na=55$), *Mop*: *Machaerium opacum* ($nt=165$; $na=55$), and *Ohe*: *Ouratea hexasperma* ($nt=165$; $na=55$). Triplet - Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC. Average Savitzky-Golay 2nd derivative, and EMSC. Green color indicates confusion in the same family. nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

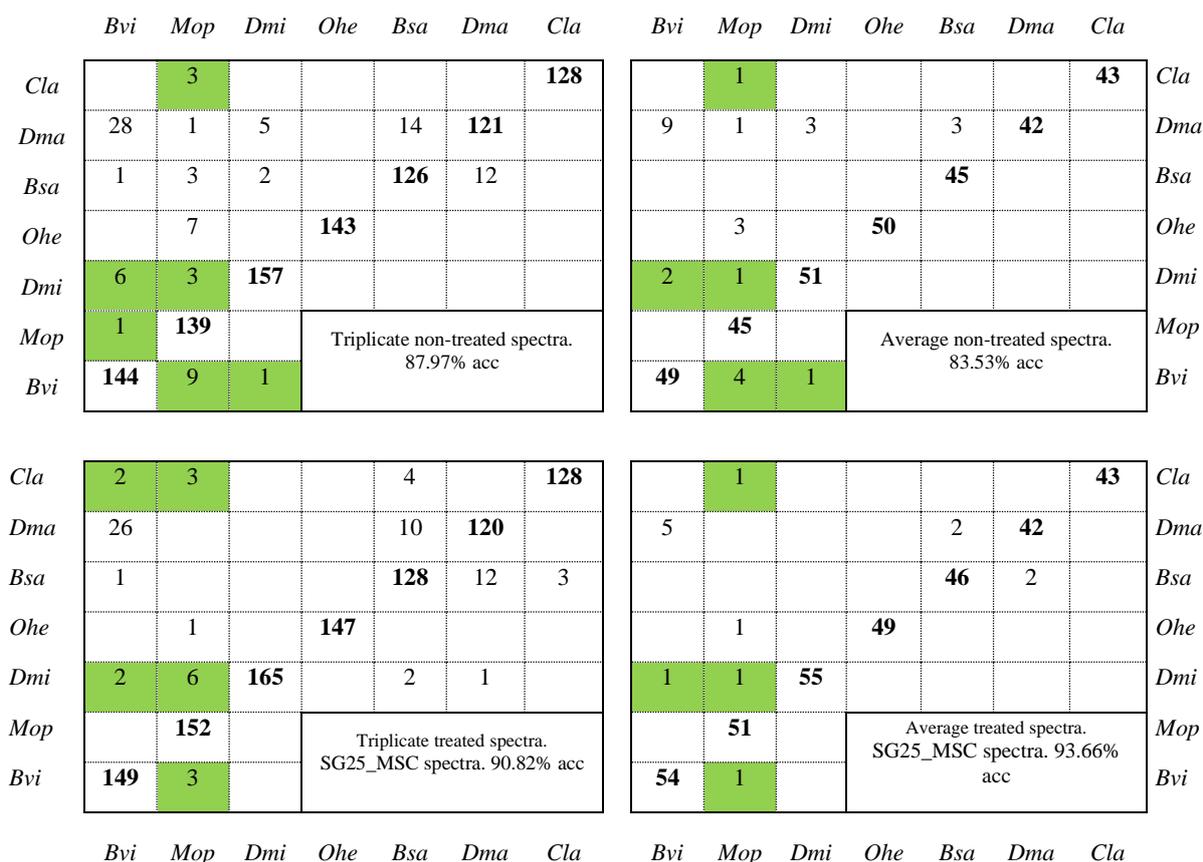


Fig. 10 Confusion matrix for species based on treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from non-sanded transverse section of branch samples, using the triplicate spectra ($n=1089$) and the spectra average ($n=363$). *Bsa*: *Blepharocalyx salicifolius* ($nt=144$; $na=48$), *Bvi*: *Bowdichia virgilioides* ($nt=180$; $na=60$), *Cla*: *Copaifera langsdorffii* ($nt=135$; $na=45$), *Dma*: *Didymopanax macrocarpus* ($nt=135$; $na=45$), *Dmi*: *Dalbergia miscolobium* ($nt=165$; $na=55$), *Mop*: *Machaerium opacum* ($nt=165$; $na=55$), and *Ohe*: *Ouratea hexasperma* ($nt=165$; $na=55$). Triplet and average - Savitzky-Golay, 1st derivative, and MSC. Green color indicates confusion in the same family. nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

	<i>Bvi</i>	<i>Mop</i>	<i>Dmi</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>	<i>Dma</i>	<i>Cla</i>		<i>Bvi</i>	<i>Mop</i>	<i>Dmi</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>	<i>Dma</i>	<i>Cla</i>	
<i>Cl</i>	7	6		2			135		2	2					45	<i>Cl</i>
<i>Dma</i>	1	2		2		108			1		1		48	5		<i>Dma</i>
<i>Bsa</i>		1			144	16							48	5		<i>Bsa</i>
<i>Ohe</i>	4	1		154		1					52					<i>Ohe</i>
<i>Dmi</i>		2	159	6		9			1	53	1			2		<i>Dmi</i>
<i>Mop</i>		153	6	TriPLICATE non-treated spectra. 93.76% acc						51	2	Average non-treated spectra. 95.04% acc				<i>Mop</i>
<i>Bvi</i>	168								58							<i>Bvi</i>

	<i>Bvi</i>	<i>Mop</i>	<i>Dmi</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>	<i>Dma</i>	<i>Cla</i>		<i>Bvi</i>	<i>Mop</i>	<i>Dmi</i>	<i>Ohe</i>	<i>Bsa</i>	<i>Dma</i>	<i>Cla</i>	
<i>Cl</i>		6					135			1					45	<i>Cl</i>
<i>Dma</i>		2		2	3	121			1			1	42			<i>Dma</i>
<i>Bsa</i>					141	3							47			<i>Bsa</i>
<i>Ohe</i>				160								54				<i>Ohe</i>
<i>Dmi</i>		2	159	3		9					53	1		3		<i>Dmi</i>
<i>Mop</i>		155	6	TriPLICATE treated spectra. SG2_MSC spectra. 96.51% acc						53	2	Average treated spectra. SG2_MSC spectra. 97.52% acc				<i>Mop</i>
<i>Bvi</i>	180								60							<i>Bvi</i>

Fig. 11 Confusion matrix for species based on non-treated (top rectangles) and treated spectra (bottom rectangles) acquired from sanded transverse section of branch samples, using the triplicate spectra ($n=1089$) and the spectra average ($n=363$). Species: *Bsa*: *Blepharocalyx salicifolius* ($nt=144$; $na=48$), *Bvi*: (*Bowdichia virgilioides* ($nt=180$; $na=60$), *Cl*: *Copaifera langsdorffii* ($nt=135$; $na=45$), *Dma*: *Didymopanax macrocarpus* ($nt=135$; $na=45$), *Dmi*: *Dalbergia miscolobium* ($nt=165$; $na=55$), *Mop*: *Machaerium opacum* ($nt=165$; $na=55$) and *Ohe*: *Ouratea hexasperma* ($nt=165$; $na=55$). Triplicate and average - Savitzky-Golay, 2nd derivative, and MSC. Green color indicates confusion in the same family. nt : number of triplicates of the spectra, na : number of spectra average.

Table 2 PLS-DA of the spectra collected on the bark, triplicates and average of the data separated by family and species.

Triplicate		Family				Species						
		Ara	Fab	Myr	Och	<i>Bsa</i>	<i>Bvi</i>	<i>Cla</i>	<i>Dma</i>	<i>Dmi</i>	<i>Mop</i>	<i>Ohe</i>
Nontreated spectra	N° factors	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	R^2	0.47	0.65	0.48	0.76	0.46	0.60	0.44	0.46	0.71	0.47	0.75
	SECV	0.24	0.29	0.25	0.18	0.25	0.23	0.25	0.24	0.19	0.26	0.18
Treated spectra - SG2_MSC	N° factors	13	13	13	13	19	19	19	19	19	19	19
	R^2	0.40	0.60	0.51	0.82	0.53	0.62	0.40	0.34	0.57	0.40	0.83
	SECV	0.26	0.31	0.24	0.15	0.23	0.23	0.27	0.28	0.24	0.28	0.15

Avarengé		Family				Species						
		Ara	Fab	Myr	Och	<i>Bsa</i>	<i>Bvi</i>	<i>Cla</i>	<i>Dma</i>	<i>Dmi</i>	<i>Mop</i>	<i>Ohe</i>
Nontreated spectra	N° factors	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	R^2	0.45	0.63	0.47	0.75	0.41	0.58	0.38	0.39	0.70	0.44	0.74
	SECV	0.25	0.30	0.26	0.18	0.26	0.32	0.24	0.24	0.19	0.26	0.18
Treated spectra - SG2_EMSC	N° factors	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	R^2	0.48	0.68	0.53	0.82	0.51	0.62	0.27	0.42	0.56	0.28	0.82
	SECV	0.24	0.28	0.23	0.15	0.24	0.23	0.32	0.25	0.24	0.31	0.15

Ara: Araliaceae, Fab: Fabaceae, Myr: Myrtaceae, Och: Ochnaceae, *Bsa*: *Blepharocalyx salicifolius*, *Bvi*: *Bowdichia virgilioides*, *Cla*: *Copaifera langsdorffii*, *Dma*: *Didymopanax macrocarpus*, *Dmi*: *Dalbergia miscolobium*, *Mop*: *Machaerium opacum*, and *Ohe*: *Ouratea hexasperma*). SG2_MSC: Savitzky-Golay, 2nd derivative, and MSC.

Table 3 PLS-DA of the spectra collected on the transverse section of non-sanded wood, triplicates and average of the data separated by family and species.

		Family				Species							
Triplicate		Ara	Fab	Myr	Och	<i>Bsa</i>	<i>Bvi</i>	<i>Cla</i>	<i>Dma</i>	<i>Dmi</i>	<i>Mop</i>	<i>Ohe</i>	
Non Treated spectra	N° factors	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	R^2	0.50	0.69	0.65	0.74	0.60	0.48	0.71	0.50	0.78	0.62	0.70	
	SECV	0.23	0.27	0.20	0.18	0.21	0.27	0.18	0.23	0.17	0.22	0.20	
Treated spectra - SG_EMSC (Fam) and SNV_SG (sp)	N° factors	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	
	R^2	0.55	0.75	0.75	0.77	0.72	0.54	0.71	0.49	0.84	0.69	0.74	
	SECV	0.22	0.25	0.17	0.18	0.18	0.25	0.18	0.23	0.14	0.20	0.18	
		Family				Species							
Avarengé		Ara	Fab	Myr	Och	<i>Bsa</i>	<i>Bvi</i>	<i>Cla</i>	<i>Dma</i>	<i>Dmi</i>	<i>Mop</i>	<i>Ohe</i>	
Non Treated spectra	N° factors	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	R^2	0.47	0.65	0.62	0.71	0.62	0.47	0.71	0.50	0.77	0.61	0.71	
	SECV	0.24	0.29	0.20	0.19	0.21	0.27	0.18	0.23	0.17	0.22	0.19	
Treated spectra - AreaNorm_SG (Fam) and SNV_SG (sp)	N° factors	18	18	18	18	20	20	20	20	20	20	20	
	R^2	0.60	0.74	0.78	0.75	0.72	0.54	0.72	0.52	0.84	0.70	0.74	
	SECV	0.21	0.25	0.16	0.18	0.18	0.25	0.17	0.23	0.14	0.20	0.18	

Ara: Araliaceae, Fab: Fabaceae, Myr: Myrtaceae, Och: Ochnaceae, (*Bsa*: *Blepharocalyx salicifolius*, *Bvi*: *Bowdichia virgilioides*, *Cla*: *Copaifera langsdorffii*, *Dma*: *Didymopanax macrocarpus*, *Dmi*: *Dalbergia miscolobium*, *Mop*: *Machaerium opacum*, and *Ohe*: *Ouratea hexasperma*). SG_EMSC: Savitzky-Golay, first derived, and EMSC; SNV_SG: SNV, Savitzky-Golay and 1nd derivative; AreaNorm_SG: area normalization, Savitzky-Golay, and 1nd derivative.

Table 4 PLS-DA from spectra acquired on sanded transverse section of wood branches in triplicates and average. Data separated by family and species, performed with 20 factors.

		Family				Species						
		Ara	Fab	Myr	Och	<i>Bsa</i>	<i>Bvi</i>	<i>Cla</i>	<i>Dma</i>	<i>Dmi</i>	<i>Mo</i>	<i>Ohe</i>
Non Treated spectra	R^2	0.42	0.77	0.68	0.69	0.65	0.60	0.68	0.42	0.73	0.71	0.57
	SECV	0.26	0.23	0.19	0.20	0.20	0.24	0.19	0.26	0.19	0.19	0.25
Treated spectra - AreaNorm_SG2	R^2	0.60	0.82	0.84	0.81	0.83	0.71	0.77	0.59	0.74	0.74	0.80
	SECV	0.21	0.21	0.14	0.16	0.14	0.20	0.16	0.21	0.18	0.18	0.16

		Family				Species						
Average		Ara	Fab	Myr	Och	<i>Bsa</i>	<i>Bvi</i>	<i>Cla</i>	<i>Dma</i>	<i>Dmi</i>	<i>Mop</i>	<i>Ohe</i>
Non Treated spectra	R^2	0.50	0.78	0.68	0.72	0.68	0.64	0.68	0.49	0.68	0.72	0.68
	SECV	0.24	0.23	0.19	0.19	0.19	0.22	0.19	0.24	0.20	0.19	0.21
Treated spectra - AreaNorm_SG2	R^2	0.57	0.81	0.83	0.80	0.83	0.71	0.76	0.59	0.75	0.74	0.80
	SECV	0.22	0.21	0.14	0.16	0.14	0.20	0.16	0.21	0.18	0.18	0.16

Ara: Araliaceae, Fab: Fabaceae, Myr: Myrtaceae, Och: Ochnaceae), (*Bsa*: *Blepharocalyx salicifolius*, *Bvi*: *Bowdichia virgilioides*, *Cla*: *Copaifera langsdorffii*, *Dma*: *Didymopanax macrocarpus*, *Dmi*: *Dalbergia miscolobium*, *Mop*: *Machaerium opacum*, and *Ohe*: *Ouratea hexasperma*). AreaNorm_SG: area normalization, Savitzky-Golay, and 2nd derivative.

Discussion

The plot line revealed variations among the three sections analyzed. The most heterogeneous data was observed in the bark section. On the other hand, both the TS and TNS exhibited more cohesive grouping (SI 1). The type and quantity of parenchyma cells influence the spectra collection because of its chemical composition; as according to Svensson et al. (1997) this region is known as the third order tone where C-H, N-H, and O-H groups occur, which may be associated with different celluloses with water and starch storage. An example of this influence is that species with a significant amount of parenchyma, such as *D. miscolobium* and *M. opacum*, of this study, exhibited distinct features in the 900 to 1,200 nm waves in the plot line of the sanded wood in the transverse section (SI 3).

Additionally, vessel density and diameter can influence spectra collection (Muñiz et al. 2016). The same species, *D. miscolobium* and *M. opacum*, in addition to *C. langsdorffii*, studied here, exhibited large vessels, when compared to the others. What may have influenced spectra analysis. Also, *C. langsdorffii* have axial canals that secrete oil.

PCA analysis with raw spectra did not reveal distinct clustering (Fig. 2A, C and, E). However, PCA from the TS section, using the average spectra treated with SG, 2nd derivative and EMSC, showed a tendency to cloud formation by families (Fig. 3F). We had expected a cloud formation, but it did not occur, possibly because there is a large sampling group for some families, such as Fabaceae, in comparison to the other families with only one species (Araliaceae, Myrtaceae and Ochnaceae).

LDA showed promising results in differentiating families, which have even better accuracy using spectra averages. In the bark, using spectra averages, accuracy reached 90.6%. In the TS section, raw data had an accuracy of 93.7%, which increased to 99.2% after averaging and processing the data with SG 2nd derivative and EMSC. Even with TNS, accuracy exceeded 90%. Therefore, it was possible to distinguish families with NIR without any treatment on wood.

In the paper by Snel et al. (2017), spectra transformations were employed to improve LDA accuracies, differentiating similar species of *D. nigra*. In our study, the confusion matrix for families (Figs. 4-6) revealed that the highest confusion values came from bark spectra. However, these were reduced after averaging and processing. The bark contains high levels of polyphenols, terpenes, waxes, extracts, suberin, among others (Ferreira et al. 2018; Hamad et al. 2019; Vangeel et al. 2023). These differences in composition could cause more heterogeneity in spectra acquisition. Also, the species studied here have different bark textures,

resulting in non-uniformity of their surface. This could also affect spectra acquisition, especially, since, in most species, the bark peels off.

The spectra collected from TS wood branch samples (averaging spectra values treatment), showed only one error, which occurred between Araliaceae and Myrtaceae. *Blepharocalyx salicifolius* (Myrtaceae) has a significant amount of apotracheal parenchyma when compared to *D. macrocarpum* (Araliaceae) which has paratracheal scarce parenchyma. The differences in the quantity and composition of the content in axial parenchyma cells may have caused this error. Additionally, *D. macrocarpus* has a radial canal with content, which could also affect spectra acquisition. Unfortunately, the lack of quantitative wood compounds analyses makes it difficult to determine which characteristics are fundamental for separating these families, even though they belong to four different orders (Araliaceae – Apiales, Myrtaceae – Myrtales, Fabaceae – Fabales and Ochnaceae – Malpighiales).

However, species data revealed interesting results. We noticed differences when collecting the spectra at different parts of the branches. When comparing the bark plot line with the wood transverse section, we observed that the bark spectra had a different pattern of waves, especially at the peak between 1,300 and 1,600 nm. According to Hadlich et al. (2018), these differences can be explained by the fact that the spectra collected at various locations capture different chemical components, for example when comparing the spectra collected from the phloem and rhytidome.

Although we observed these differences, this technology has already been successfully validated for species separation (Dormontt et al. 2015), with the genus *Quercus* (Adadipe et al. 2008) and *Dalbergia* (Gasson et al. 2010). Furthermore, a more comprehensive collection of spectra will help prevent errors in species identification.

The difference in spectra collection between the TS and TNS sections and bark can be observed in the formation of groups or not after the data processing. There is limited distinction of species while collecting bark spectra (Figs. 7A, B). The bark exhibited variations in color (ranging from grayish to brown, reddish-brown, and grayish with shades of yellow) and type/texture, for example, the bark of *M. opacum* presented bark with deep fissures, therefore while collecting the spectra the equipment did not have complete contact with the bark surface, which could influence in spectra analysis. The bark section exhibited the highest degree of confusion between species; only when using the average of the spectra and appropriate treatment could we achieve an accuracy of 94%.

However, spectra collected from the TS section clearly separates the species (Figs. 7E, F). Nevertheless, PCA in TNS (Figs. 7C, D) did not have satisfactory results, but it cannot be

ruled out, as LDA analysis still provides a good separation, achieving satisfactory results in species classification, reaching an accuracy of 97,5% when using the average of the spectra after sanding the wood. The models used in all three sections were effectively differentiated between species, as presented in the confusion matrix (Fig. 9-11).

Although TNS wood showed model accuracies exceeding 90%, this treatment had the lowest results of the three. However, the confusion matrix of treated data using TNS wood spectra showed a high number (from 88% to 93%) of confusions between *D. macrocarpus* and *B. virgilioides*. In contrast, the confusion matrix of treated data using sanded wood showed fewer confusions, but *B. salicifolius* and *D. macrocarpus* had problems in separation. This could be explained by their wood anatomy, as both have medium diameter vessel, resulting in empty spaces, and similar quantity of parenchyma cells, in which *D. macrocarpus* has large rays, while *B. salicifolius* has a great quantity of apotracheal axial parenchyma.

According to the parameters used to evaluate PLS-DA, in general, the results were better for TS (Table 4). However, this is not a rule for all taxonomic groups, such as the Ochnaceae family (Table 2), which had a better result in the spectra collected from the bark after the second derivative transformation with SG and MSC ($R^2=0.82$), as well as the species belonging to this family, *Ouratea hexasperma* ($R^2=0.83$) in Table 2. The bark of this species was the only one which did not peel, and it was not deeply fissured, as *Machaerium*.

In *D. miscolobium* case (Table 3), which had a better result in the spectra collected in the transverse section of TNS wood, in both raw data and after treatment by SNV in conjunction with the 1st derivative with SG ($R^2=0.84$). PLS-DA graphs of the spectra collected on the bark, non-sanded and sanded wood can be found in SI 2.

It was not possible to differentiate the studied species based on physiognomy. Even when we focused only on the two species, *B. virgilioides* and *C. langsdorffii*, which occurred in both cerrado *s.s.* and cerradão, it was not possible to distinguish them based on the cerrado *s.l.* physiognomy. However, there was a separation between the *B. virgilioides* “*sucupiras-pretas*” collected in the Federal District and Goiás. Silva et al. 2018, also could separate the same species (*Swietenia macrophylla* King) by location when comparing data from different countries. In addition, the use of NIRS to differentiate the origin of a species has already been tested using cork (Prades et. al. 2012). The same authors report that it is important to use robust models that increase variability for a more accurate discrimination the location.

We believe that if there were 30 samples of *B. virgilioides* from each group location, the results could be better (12 samples from Goiás 48 from the Federal District). According to Silva et al. (2018), it is important for statistical models to be robust, incorporating many

samples to capture variation and heterogeneity. However, even with a relatively low number of samples, the model was able to be classified by location with an accuracy of 88.7% with SNV treatment. When the 2nd derivative was applied, the accuracy increased to 91.7% with 12 components.

Also, no clouds were formed in the PCA, which can be attributed to the fact that these are the same species with slight phytochemical variations caused by different edaphoclimatic conditions. It is important to conduct more studies, in addition to increasing the number of samples to be able to effectively separate the same species. As reported by Sandak et al. (2011), the chemical characteristics that may differentiate groups of the same species can be perceived by NIR when collecting spectra from individuals in different locations.

In this study, we demonstrate that NIRS technology can be a viable option for classifying species in different treatments using statistical models, including the spectra collected on the bark of Cerrado tree branches. As demonstrated by Hadlich et al. (2018) while collecting spectra on the bark in the field of Amazonian trees. In this paper, when averaging and transforming the spectra of sanded wood, LDA has shown promising results, standing out as a viable alternative for separating challenging taxonomic groups. The results obtained from the three collection sites showed potential for classification of species and although no formation of clouds was observed in the PCA, the LDA results were promising for classification of the families and species. An attempt was made to separate the collection sites, but the low number of samples per location site was a limiting factor for significant results.

Conclusion

We developed a discrimination model to determine the reliability of different spectrum acquisition methods in differentiating species, locations, and collection physiognomy. This allowed us to test whether wood preparation for spectrum acquisition is necessary and to assess whether the accuracy remains high across different wood densities. By utilizing the NIRS technology, it was possible to distinguish the seven Cerrado tree species in this study using branch wood samples and spectra acquired from the bark, as well as in non-sanded and sanded transverse sections. We use macroscopic wood anatomy to aid in a more accurate interpretation of NIR analyses.

The best results in the PCA and LDA (99% family, 97% species) were observed using the sanded transverse section with spectra treated. However, bark showed slightly lower efficacies (97% family, 93% species), a satisfactory result demonstrating that it is not necessary

to cut the wood branch. The multivariate analysis with spectra treatment was extremely important for improving the accuracies in LDA in all sections. LDA analysis distinguished *Bowdichia virgilioides* species by collection site. Regarding PLS-DA, the best results were also observed with the sanded transverse sections, except for *Ouratea hexasperma* in which the bark had the best distinction and for *Dalbergia miscolobium* with the non-sanded transverse sections. Therefore, near infrared spectroscopy showed to be an option for distinguishing species when it is not possible to polish the wood or branch sample.

Acknowledgments

We would like to thank the foundation for research support of the Federal District (FAPDF) for granting scholarships during this work (Nº 05/2022), to the postgraduate support program (PROAP) for the financial support for the research (Nº 1/2021, 1/2022 and 2/2022), to the Graduate Program in Botany at the University of Brasilia (PPGBot-UnB), and the University of Brasilia for the local support, and material to produce the research, the Laboratory of Forest Products (LPF) for granting access to equipment for photographing the samples. Also, we thank the Ecological Reserve of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), and Cirádía Alves de Souza, owner of the private area in Edilândia, Cocalzinho – GO, which allowed us to collect the samples.

Referencies

Adedipe, OE, Dawson-Andoh, B, Slahor, J, and Osborn, L (2008) Classification of red oak (*Quercus rubra*) and white oak (*Quercus alba*) wood using a near infrared spectrometer and soft independent modelling of class analogies. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 16:49-57. <https://doi.org/10.1255/jnirs.760>

Alves, ES, Angyalossy-Alfonso, V (2002) Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *IAWA Journal* 23:391–418. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000311>

Alonso, Jorge R (1998) Tratado de fitomedicina: bases clínicas y farmacológicas. Isis, Buenos Aires, Argentina.

Braga, JWB, Pastore, TCM, Coradin, VTR, Camargos, JAA, and Silva, AR (2011) The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (Cites Appendix II). *IAWA Journal* 32:285-296. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000058>

Carvalho, PER (2014) *Espécies Arbóreas Brasileiras*. (1ª Edição) Embrapa Florestas, Brazil.

Castillo, R, Contreras, D, Freer, J, Ruiz, J, and Valenzuela, S (2008) Supervised pattern recognition techniques for classification of *Eucalyptus* species from leaves NIR spectra. *Journal of the Chilean Chemical Society* 53:1709-1713. <http://doi.org/10.4067/S0717-97072008000400016>

Dormontt, EE, Boner, M, Braun, B, Breulmann, G, Degen, B, Espinoza, E, and Lowe, AJ (2015) Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biological Conservation* 191:790-798. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.038>

Eberhardt, DN, Marchão, RL, Vendrame, PRS, Corbeels, M, Guedes Filho, O, Scopel, E, and Becquer, T (2021) Effect of Savanna windrow wood burning on the spatial variability of soil properties. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 51, e66853. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5166853>

Faria, MCGD, Silva Neto, CDM, Lima, PAF, Chagas, MP, Tomazello Filho, M, & Sette Junior, CR (2020) Brazilian cerrado species: wood characteristics. *Bioscience Journal*, 36:1335-1352. <http://doi.org/10.14393/BJ-v36n4a2020-48044>

Ferreira, JP, Miranda, I, Sousa, VB & Pereira, H (2018). Chemical composition of barks from *Quercus faginea* trees and characterization of their lipophilic and polar extracts. *PLOS One*, 13, e0197135. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197135>

Florsheim SMB, Ribeiro AP, Longui EL et al (2020) *Identificação Macroscópica de Madeiras Comerciais do Estado de São Paulo*. (1ª Edição) São Paulo, Brazil.

Gasson, P, Miller, R et al (2010) Wood identification of *Dalbergia nigra* (CITES Supplementary material I) using quantitative wood anatomy, principal components analysis and naïve Bayes classification. *Annals of Botany* 105:45-56. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp270>

Gasson, P (2011) How precise can wood identification be? Wood anatomy's role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA journal* 32:137-154. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000049>

Gherardi Hein, PR, Lima, JT, and Chaix, G (2010) Effects of sample preparation on NIR spectroscopic estimation of chemical properties of *Eucalyptus urophylla* ST Blake wood. *Holzforschung* 64:45-54. <https://doi.org/10.1515/hf.2010.01>

Goncalves, TA, Nisgoski, S, Oliveira, JS, Marcati, CR, Ballarin, AW, and Muniz, GI (2016) A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil II-Macroscopic characterization of Cerrado species. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 88:045-1054. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150322>

Gonçalves, TA, Navarro, AG, Nisgoski, S, & Sonsin-Oliveira, J (2021) The trees of the Water People: archeological waterlogged wood identification and near-infrared analysis in Eastern Amazonia. *Wood Science and Technology* 55:991-1011. <https://doi.org/10.1007/s00226-021-01288-4>

Gotsch, SG, Geiger, EL, Franco, AC, Goldstein, G, Meinzer, FC, and Hoffmann, WA (2010) Allocation to leaf area and sapwood area affects water relations of co-occurring savanna and forest trees. *Oecologia* 163:291-301. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1543-2>

Habermann E, Imatomi M, Pontes FC, Gualtieri SC (2016) Antioxidant activity and phenol content of extracts of bark, stems, and young and mature leaves from *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) Oberg. *Brazilian Journal of Biology* 76:898-904. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.03815>

Hadlich, HL, Durgante, FM, Dos Santos, J, Higuchi, N, Chambers, JQ, & Vicentini, A (2018) Recognizing Amazonian tree species in the field using bark tissues spectra. *Forest ecology and management* 427:296-304. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.002>

Hamad, AMA, Ates, S, Olgun, Ç, & Gur, M (2019). Chemical composition and antioxidant properties of some industrial tree bark extracts. *BioResources*, 14:5657-5671. <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.5657-5671>

<https://cites.org/eng/app/appendices.php>. Accessed 20 November 2023

<https://www.iucnredlist.org/search?query=Swietenia+macrophylla&searchType=species>

Accessed 06 November 2023

Leite, ERDS, Hein, PRG, Souza, TMD, and Rabelo, GF (2012) Estimation of the dynamic elastic properties of wood from *Copaifera langsdorffii* Desf using resonance analysis. *Cerne* 18:41-47. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100006>

Melo JE (2002) *Madeira: Características e aplicações*. Ministério do Meio Ambiente, Laboratório de Produtos Florestais, Brazil.

Muñiz, GIB, Magalhaes, WLE, Carneiro, ME, and Viana, LC (2012) Background and state of the art of near infrared spectroscopy in the forest sector base. *Forest Science* 22:865-875. <https://doi.org/10.5902/198050987567>

Muñiz, GIB, Carneiro, ME, Nisgoski, S, Ramirez, MGL & Magalhães, WLE (2013) SEM and NIR characterization of four forest species charcoal. *Wood Science and Technology*, 4:815-823. <http://doi.org/10.1007%2Fs00226-013-0539-6>

Muñiz, GIB, Carneiro, ME, Ribeiro Batista, FR, Zatt Schardosin, F, & Nisgoski, S (2016) Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as “angelim” by near-ir and wood anatomy. *Maderas Ciencia y tecnología* 18:505-522. <http://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000045>

Novaes, TV (2021) *Near-infrared spectroscopy (NIR) to discriminate Amazonian wood-producing forest species*. Dissertation, Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brazil.

Pasa MC (2011) Saber local e medicina popular: a etnobotânica em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. *O Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 6:179-196. <https://doi.org/10.1590/S1981-81222011000100011>

Pastore, TCM, Braga, JWB et al (2011) Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: Discrimination of true mahogany, cedar, andiroba, and curupixá. *Holzforschung* 65:73-80. <https://doi.org/10.1515/hf.2011.010>

Prades, C, Gómez-Sánchez, I, García-Olmo, J, and González-Adrados, JR (2012) Discriminant analysis of geographical origin of cork planks and stoppers by near infrared

spectroscopy. *Journal of wood chemistry and technology* 32:66-85.
<https://doi.org/10.1080/02773813.2011.599697>

Paula, JE (2005) Caracterização Anatômica Da Madeira De Espécies Nativas Do Cerrado, Visando Sua Utilização Na Produção De Energia. *Cerne* 11:90-100.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74411110>

Rocha, HS, Braga, JW, Kunze, DC, Coradin, VT, and Pastore, TC (2021) Identification of mahogany sliced veneer using handheld near-infrared spectroscopy device and multivariate data analysis. *IAWA Journal* 42:336-347. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10054>

Sandak, A, Sandak, J, & Negri, M (2011) Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. *Wood science and technology* 45:35-48.
<https://doi.org/10.1007/s00226-010-0313-y>

Santos, MO, Camilo, CJ et al (2021) *Copaifera langsdorffii* Desf: A chemical and pharmacological review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 39, 102262.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102262>

Silva, CJ, do Vale, AT, and Miguel, EP (2015) Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. *Pesquisa Florestal Brasileira* 35:63-75.
<https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.822>

Silva Júnior, MC (2012) 100 Árvores do Cerrado sentido restrito. (2ª Edição) Editora Rede de Sementes do Cerrado, Brazil.

Silva, DC, Pastore, TC et al (2018) Determination of the country of origin of true mahogany (*Swietenia macrophylla* King) wood in five Latin American countries using handheld NIR devices and multivariate data analysis. *Holzforschung* 72:521-530. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0160>

Smiderle, OJ, and Sousa, RDCPD (2003) Dormência em sementes de paricarana (*Bowdichia virgilioides* Kunth - Fabaceae - Papilionidae). *Brazilian Journal of Seeds* 25:48-52.
<https://doi.org/10.1590/S0101-31222003000100012>

Snel, FA, Braga, JW et al (2018) Potential field deployable NIRS identification of seven Dalbergia species listed by CITES. *Wood Science and Technology* 52:1411-1427. <https://doi.org/10.1007/s00226-018-1027-9>

Souza, CLF, Oliveira, RB et al (2019) O cerrado como o “berço das águas”: potencialidades para a educação geográfica. *Cerrados Journal (Unimontes)* 17:86-113. <https://doi.org/10.22238/rc244826922019170186113>

Strassburg, BBN, Brooks, T et al (2017) Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology and Evolution* 1:0099. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

Svensson, O, Josefson, M, and Langkilde, FW (1997) Classification of chemically modified celluloses using a near-infrared spectrometer and soft independent modeling of class analogies. *Applied spectroscopy* 51:1826-1835. <https://opg.optica.org/as/abstract.cfm?URI=as-51-12-1826>

Tsuchikawa, S, and Schwanninger, M (2013) A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part 2). *Applied Spectroscopy Reviews* 48:560-587. <https://doi.org/10.1080/05704928.2011.621079>

Vangeel, T, Neiva, DM et al (2021). Tree bark characterization envisioning an integrated use in a biorefinery. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13:2029-2043. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01362-8>

Vale, ATD, Brasil, MAM, and Leão, AL (2002) Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. *Ciência Florestal* 12:71-806. <https://doi.org/10.5902/198050981702>

Vieira, HC, Santos, JXD et al (2019) Potential of the near-infrared spectroscopy for the discrimination of wood and charcoal of four native Myrtaceae species in southern Brazil. *Wood Material Science and Engineering* 16:188-195. <https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1689296>

Vimal, K, Aasheesh, R, and Dubey, YM (2014) Enhancing the applicability of near infrared spectroscopy for estimating specific gravity of green timber from Eucalyptus tereticornis by developing composite calibration using both radial and tangential face of wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 72:11-20. <https://10.1007/s00107-013-0742-z>

Wheeler, EA, & Baas, P (1998) Wood identification-a review. *IAWA journal* 19:241-264.
<https://doi.org/10.1163/22941932-90001528>

Wenzel, F (2021) Cerrado could collapse in 30 years Mongabay: environmental news to inform and transform. Publishing Mongabay. URL: <https://brasilmongabaycom/2021/08/cerrado-pode-entrar-em-colapso-em-30-anos>.

Windeisen, E, Bächle, H, Zimmer, B, and Wegener, G (2009) Relations between chemical changes and mechanical properties of thermally treated wood 10th EWLP, Stockholm, Sweden, August 25-28, 2008. *Holzforschung* 63:773-778.
<https://doi.org/10.1515/HF.2009.084>

Zenid, GJ, & Ceccantini, GC (2007) Identificação macroscópica de madeiras. São Paulo: IPT.

Supplementary information I

Classifying Cerrado tree species through the bark and transverse sections of the branch using near-infrared spectroscopy in conjunction with wood anatomy. Wood Science and Technology. AGP, Souza, Figueiredo LFA, Sonsin-Oliveira J. ana.pinheirounb@gmail.com

SI Table 1. List of collected species in UBw collection.

Família	Espécie	UBw	Família	Espécie	UBw
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	925	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1027
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	929	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1028
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	933	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1061
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	935	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1063
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	937	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1064
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	942	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1065
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	943	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1068
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	945	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1069
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	960	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1071
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	961	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1072
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	992	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1073
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	994	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1074
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	996	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1075
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1001	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1079
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1002	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1080
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1005	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1111
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1006	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1236
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1007	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	1237
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1009	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	912
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1011	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	913
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1013	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	914

Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1014	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	915
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1015	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	931
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1016	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	932
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1017	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	934
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1018	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	939
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1019	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	940
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1149	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	941
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1242	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	947
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1083	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	948
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1084	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	949
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1086	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	950
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1087	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	951
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1088	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	952
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1089	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	959
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1090	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	962
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1091	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	964
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1093	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	967
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1095	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	970
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1096	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	988
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1097	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	989
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1098	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	990
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1099	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	991
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1100	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	993
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1101	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	995
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1104	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	1126
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1121	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	1138
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1123	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	1190

Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1151	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	1239
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1152	Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i>	1240
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1162	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1060
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1167	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1062
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1168	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1067
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1174	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1070
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1175	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1076
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1176	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1077
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1179	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1078
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1180	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1114
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1181	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1116
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1182	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1118
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1184	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1124
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1092	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1128
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1094	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1129
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	1122	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1130
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1191	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1131
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1192	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1132
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1193	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1133
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1194	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1135
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1195	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1136
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1196	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1137
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1197	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1144
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1198	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1169
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1199	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1170
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1200	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1171
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1201	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1172

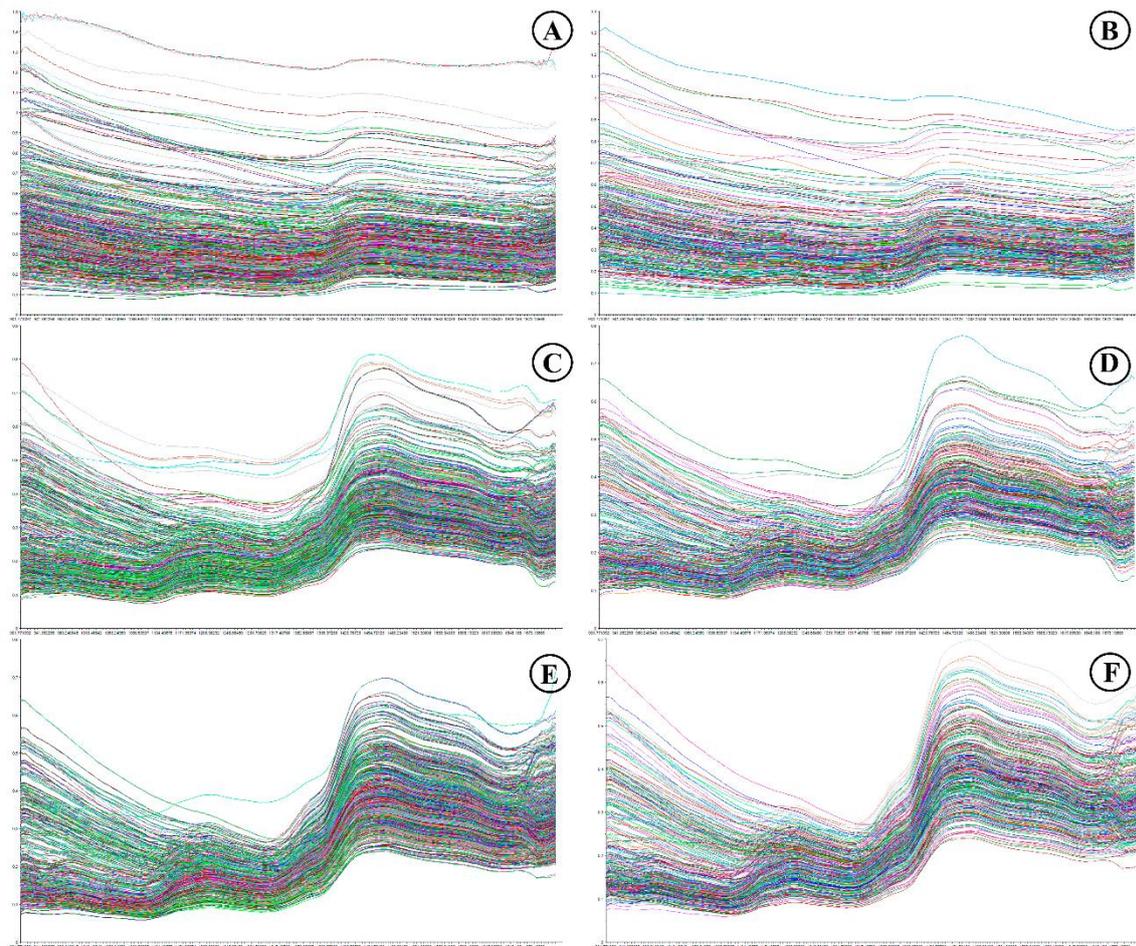
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1202	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1177
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1203	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1178
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1204	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1189
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1205	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1224
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1206	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1225
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1207	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1226
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1208	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1227
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1209	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1228
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1210	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1229
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1211	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1230
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1212	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1232
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1213	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1233
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1214	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1234
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1215	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1115
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1216	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1117
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1217	Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i>	1119
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1218	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	908
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1219	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	909
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1220	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	910
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1221	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	911
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1231	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	916
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	1235	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	919
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	917	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	953
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	926	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	963
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	927	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	965
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	930	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	966
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	936	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	968

Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	946	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	969
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	985	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	971
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	986	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	972
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	987	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	973
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	997	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	974
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	998	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	975
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	999	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	976
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1000	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	977
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1003	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	978
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1004	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	979
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1008	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	980
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1010	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	981
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1012	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	982
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1020	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	983
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1021	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	984
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1022	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	1187
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1023	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	1188
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1024	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	1241
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1025	Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i>	1244
Fabaceae	<i>Dalbergia</i> <i>miscolobium</i>	1026			

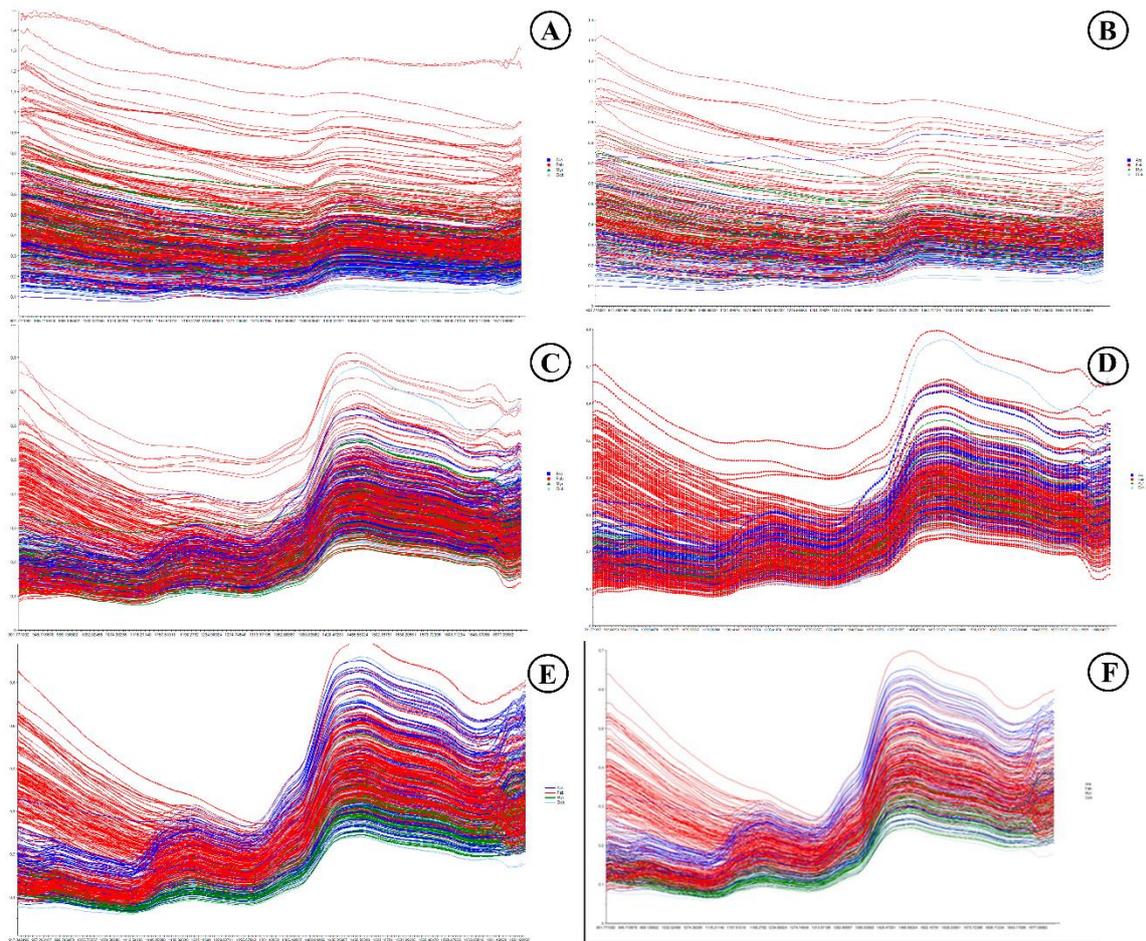
Supplementary information II

Classifying Cerrado tree species through the bark and transverse sections of the branch using near-infrared spectroscopy in conjunction with wood anatomy. Wood Science and Technology.

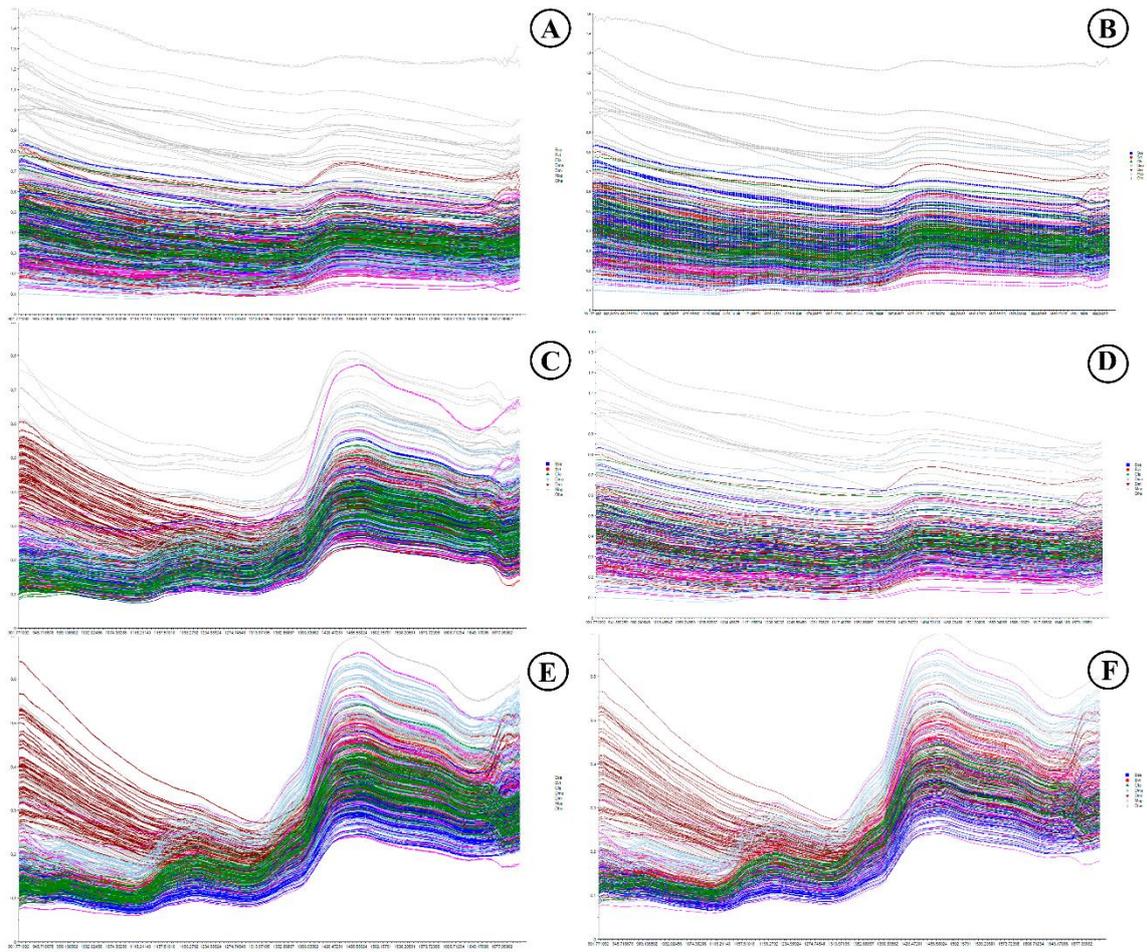
AGP, Souza, Figueiredo LFA, Sonsin-Oliveira J. ana.pineirounb@gmail.com



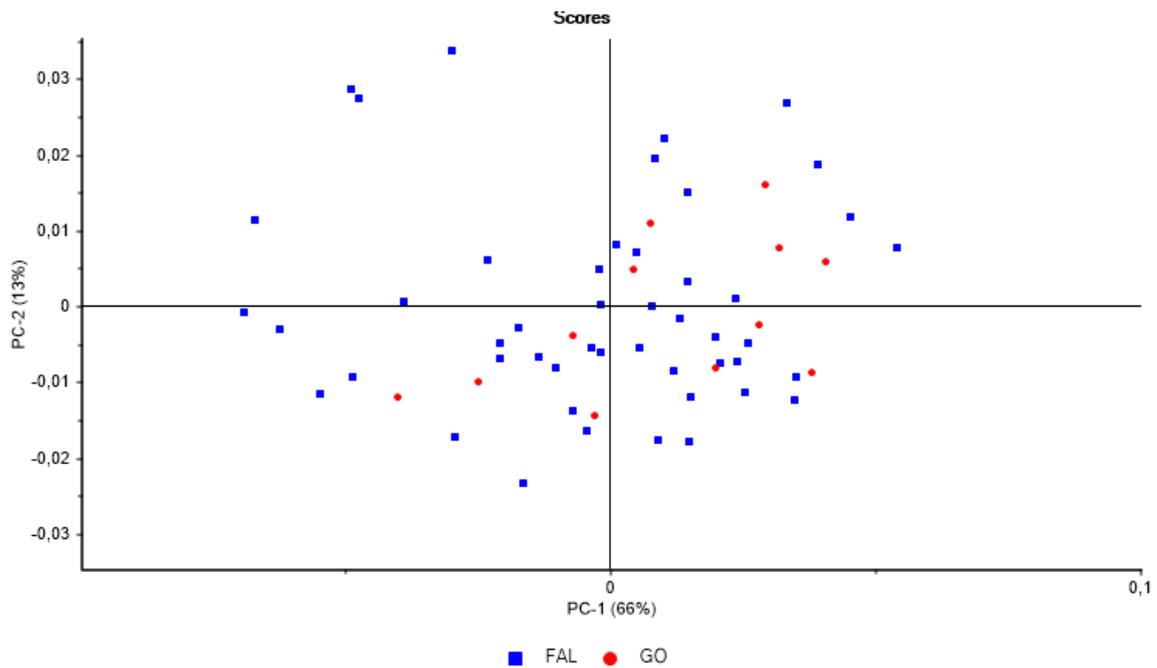
SI 1: Plot line derived from spectra acquired from bark (**A, B**), non-sanded transverse sections from wood branches (**C, D**), and sanded transverse sections from wood branches (**E, F**) from seven tree species. **A, C, E** used triplicates spectra ($n=189$). **B, D, F** used the spectra average ($n=363$).



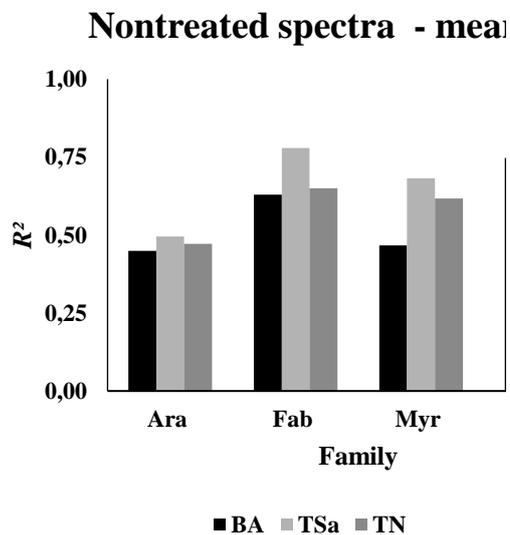
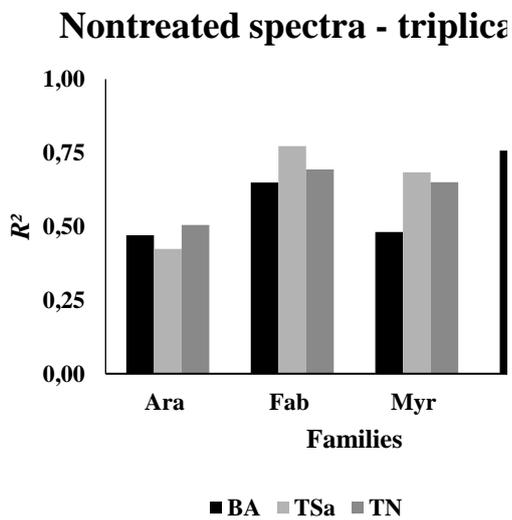
SI 2: Plot line from spectra collected from bark (**A, B**), non-sanded (**C, D**), and sanded transverse sections from wood branches (**E, F**) from seven tree species discriminated by families. **A, C, E** used triplicates spectra ($n=189$). **B, D, F** used the spectra average ($n=363$).

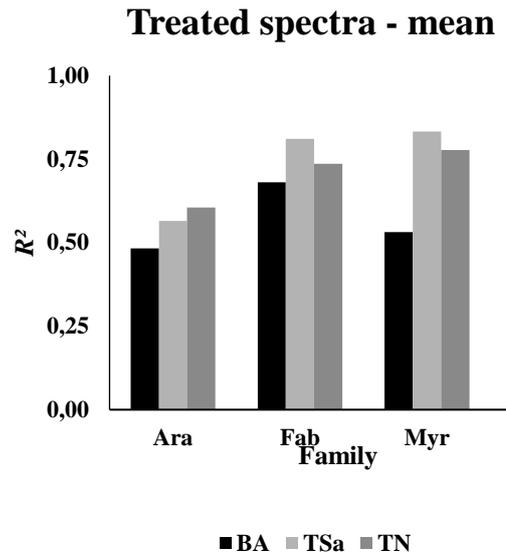
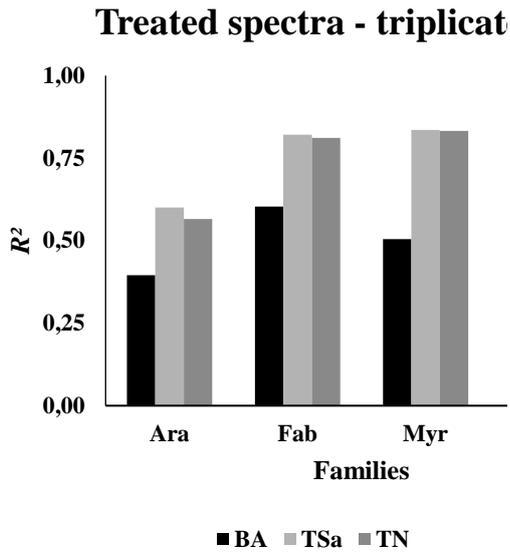


SI3: Plot line derived from spectra collected from bark (**A, B**), non-sanded (**C, D**), and sanded transverse sections from wood branches (**E, F**) from seven tree species discriminated by species. **A, C, E** used triplicates spectra ($n=189$). **B, D, F** used the spectra average ($n=363$).

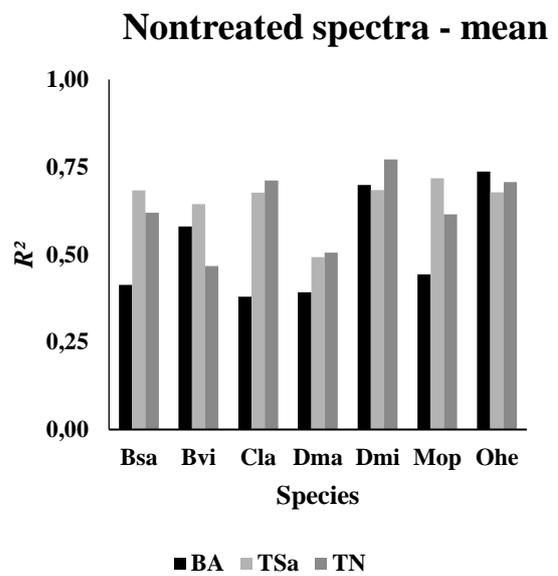
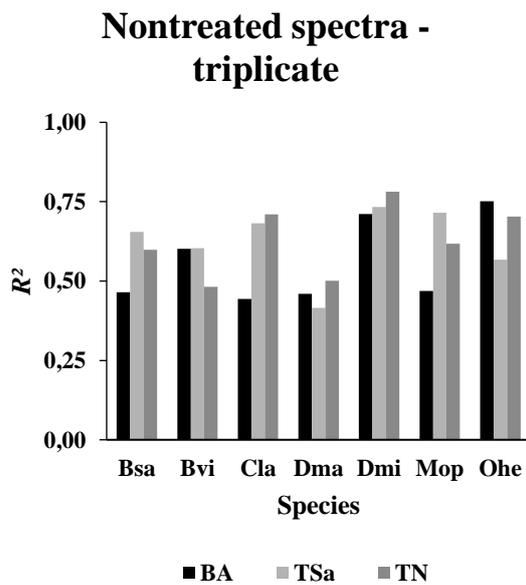


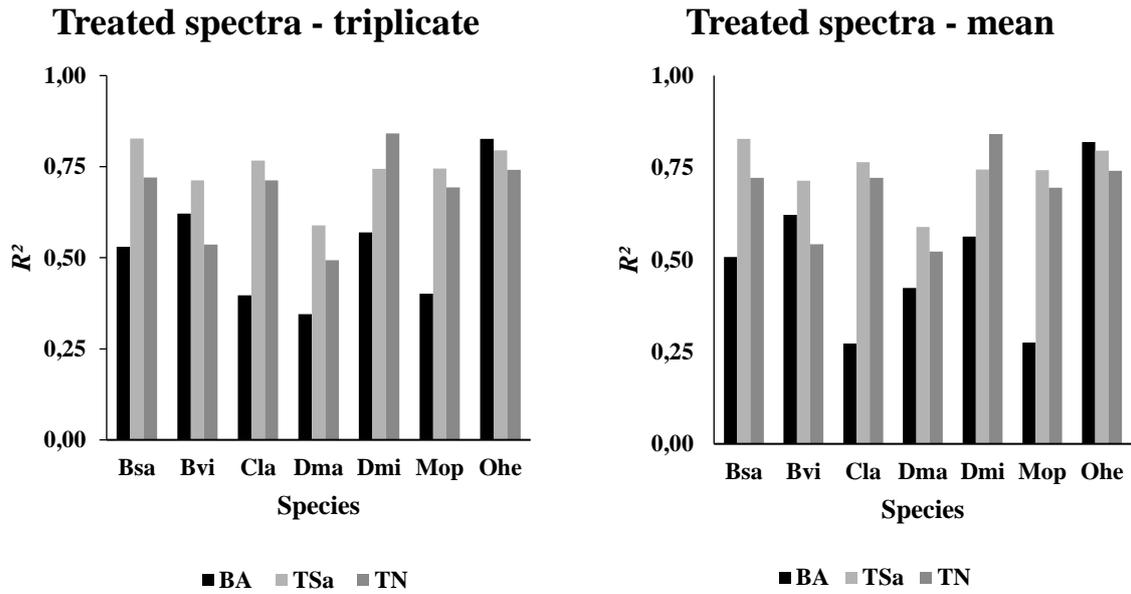
SI 4: PCA on spectra average (n=60) acquired and treated (SNV treatment and second derivative) from sanded transverse sections from wood branches of *B. virgilioides*.





SI 5: PLS-DA of families based on triplicate ($n=1.089$) and average (363) spectra nontreated and treated acquired on bark and non-sanded and sanded transverse sections from wood branches. NS: non-treated spectra and TS: Treated spectra





SI 6: PLS-DA of species based on triplicate and average spectra collected on the bark, transverse non-sanded and sanded section of branches ($n=1.089$), nontreated and treated of 363 samples using NIRS. NS: non-treated spectra and TS: Treated spectra.