



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – HENRIQUE
SANTILLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM RECURSOS NATURAIS
DO CERRADO**

DISSERTAÇÃO:
**CARACTERIZAÇÃO MORFOANATÔMICA E QUÍMICA DE QUATRO
VARIEDADES DE *Hancornia speciosa* GOMES (APOCYNACEAE)**

Discente: Marco Aurélio Batista

Orientadora: Dr^a Joelma Abadia Marciano de Paula

Coorientadora: Dr^a Andreia Juliana Rodrigues Caldeira

Anápolis

2025

MARCO AURÉLIO BATISTA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOANATÔMICA E QUÍMICA DE QUATRO
VARIEDADES DE *Hancornia speciosa* GOMES (APOCYNACEAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás como exigência para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Joelma Abadia Marciano de Paula.

Coorientadora: Prof^a Dr^a Andreia Juliana Rodrigues Caldeira

Anápolis

2025



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, CsA n.1087/2019 sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

Dados do autor (a)

Nome Completo Marco Aurélio Batista

E-mail m_batista@outlook.com.br

Dados do trabalho

Título_ CARACTERIZAÇÃO MORFOANATÔMICA E QUÍMICA DE QUATRO
VARIEDADES DE *Hancornia speciosa* GOMES (APOCYNACEAE)

Tipo

() Tese (X) Dissertação

Curso/Programa PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM RECURSOS
NATURAIS DO CERRADO

Concorda com a liberação documento [X] SIM

[] NÃO¹

Anápolis, 19/01/2026
Local Data

Documento assinado digitalmente
 MARCO AURÉLIO BATISTA
Data: 19/01/2026 11:10:21-0800
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Assinatura do autor (a)

Documento assinado digitalmente
 JOELMA ABADIA MARCIANO DE PAULA
Data: 23/01/2026 14:09:04-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Assinatura do orientador (a)

Batista, Marco Aurélio.

Caracterização morfoanatômica e química de quatro variedades de *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae)/ Marco Aurélio Batista.
– 2026. 112 f.: figs, tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Joelma Abadia Marciano de Paula. Coorientadora:
Andreia Juliana Rodrigues Caldeira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2026. Bibliografia.

Batista, Marco Aurélio. **Caracterização morfoanatômica e química de quatro variedades de *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae).** 2026. 112f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado) – Universidade Estadual de Goiás, 2026.



Universidade
Estadual de Goiás



ESTADO DE GOIÁS
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS - UEG
COORDENAÇÃO STRICTO SENSU - RECURSOS NATURAIS DO CERRADO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM RECURSOS NATURAIS DO CERRADO

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE MESTRADO Nº 06/2025

ATA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos vinte e quatro dias de fevereiro de 2025, às 09 horas, de forma presencial foi realizada a sessão de Banca de Defesa de dissertação de MESTRADO do discente MARCO AURÉLIO BATISTA, que apresentou o trabalho intitulado "CARACTERIZAÇÃO MORFOANATÔMICA E QUÍMICA DE QUATRO VARIEDADES DE *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae)". A Banca Examinadora foi composta pelos seguintes Professores: Dra. Joelma Abadia Marciano de Paula - Presidente da banca e orientadora (PPGRENAC/UEG); Dra. Mirley Luciene dos Santos (membro externo UEG); Dr. Carlos de Melo e Silva Neto (membro interno- IFG). Os examinadores arguíram na ordem citada, tendo o candidato respondido SATISFATORIAMENTE. A Banca Examinadora passou a julgamento, em sessão secreta, tendo sido o candidato:

(X) aprovado () aprovado com sugestões de alterações () reprovado.

Observações: As considerações pontuais dos avaliadores foram encaminhadas para a finalização do trabalho de dissertação de mestrado.

Reaberta a sessão, o orientador proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata que vai ser assinada por mim presidente da banca e demais membros da banca examinadora.

Orientadora: Dra. Joelma Abadia Marciano de Paula

Examinador Interno: Dr. Carlos de Melo e Silva Neto

Examinadora externa: Dra. Mirley Luciene dos Santos

Discente: Marco Aurélio Batista



Documento assinado eletronicamente por **JOELMA ABADIA MARCIANO DE PAULA, Docente de Ensino Superior**, em 24/02/2025, às 11:06, conforme art. 2º, § 2º, III, "b", da Lei 17.039/2010 e art. 3ºB, I, do Decreto nº 8.808/2016.



Documento assinado eletronicamente por **MIRLEY LUCIENE DOS SANTOS, Docente de Ensino Superior**, em 24/02/2025, às 11:07, conforme art. 2º, § 2º, III, "b", da Lei 17.039/2010 e art. 3ºB, I, do Decreto nº 8.808/2016.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos de Melo e Silva Neto, Usuário Externo**, em 25/02/2025, às 09:05, conforme art. 2º, § 2º, III, "b", da Lei 17.039/2010 e art. 3ºB, I, do Decreto nº 8.808/2016.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha orientadora, Dr^a Joelma Abadia Marciano de Paula, por sua orientação contínua, apoio incondicional e pela confiança depositada em mim durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua expertise e paciência foram fundamentais para que eu pudesse superar os desafios ao longo dessa jornada acadêmica.

Agradeço também à minha coorientadora, Dr^a Andreia Juliana Rodrigues Caldeira, pelo auxílio valioso e pelas contribuições que enriqueceram significativamente este trabalho. Sua visão crítica e direcionamento foram essenciais para o aprimoramento do conteúdo apresentado, assim como seus conselhos.

Aos professores do Laboratório de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação de Produtos da Biodiversidade, Prof^a Josana e Prof^o Leonardo, pelos conselhos e auxílios durante a pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos aos colegas de laboratório Monatha, Cristiane, Danielle, Anielly, Leonardo e Fernando que, com seu ambiente colaborativo e troca constante de ideias, tornaram o processo de pesquisa mais dinâmico e enriquecedor. A convivência e o apoio mútuo foram determinantes para o desenvolvimento deste estudo.

Reconheço e sou profundamente grato à Universidade Estadual de Goiás e às agências de fomento à pesquisa CAPES e CNPq que possibilitaram a realização deste projeto por meio de seus recursos financeiros e apoio institucional.

Agradeço também à Universidade Estadual de Goiás, pela infraestrutura oferecida e pelo ambiente acadêmico que favoreceu minha formação profissional. A qualidade do ensino e a oportunidade de fazer parte dessa instituição foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Ao Centro de Análises, Inovação e Tecnologia em Ciências Naturais e Aplicadas da UEG CAiTec, pelas análises de CLAE-DAD.

Ao Laboratório de Farmacologia e Toxicologia de Produtos Naturais e Sintéticos, onde foram realizados os cortes histológicos, e à Prof^a Dr^a Vanessa pela disponibilidade e prontidão.

Ao Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás pelas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura realizadas.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, em especial a Náthala pela parceria nas disciplinas e amizade incondicional, a Isabela e a Ana Gabriela que conheci no final desta etapa, mas que se tornaram muito especiais.

Em especial meu parceiro de vida, Thiago, por sempre acreditar, por estar sempre perto, por me distrair quando eu mais precisava e por nunca me deixar desistir.

A todos, o meu mais sincero agradecimento por tornarem este trabalho possível.

*“Cada pessoa que você conhece sabe algo que você não sabe. Aprenda com ela” – **H. Jackson Brown Jr.***

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	14
RESUMO GERAL.....	15
GENERAL ABSTRACT.....	16
INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CAPÍTULO I – MORFOANATOMIA FOLIAR DE QUATRO VARIEDADES DE <i>Hancornia speciosa</i> GOMES (APOCYNACEAE) CULTIVADAS EM BANCO DE GERMOPLASMA (<i>EX SITU</i> E <i>IN VIVO</i>).....	22
RESUMO.....	23
ABSTRACT.....	23
1.1. INTRODUÇÃO.....	25
1.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
1.2.1. Obtenção do material vegetal.....	26
1.2.2. Morfologia vegetal.....	28
1.2.3. Anatomia vegetal.....	28
1.2.3.1. Caracterização anatômica.....	28
1.2.3.2. Microscopia eletrônica de varredura.....	28
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
1.3.1. Morfologia geral.....	29
1.3.2. Morfoanatomia de <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>gardineri</i> (A. DC.) Muell. Arg.....	29
1.3.3. Morfoanatomia de <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>pubescens</i> (Nees. e Martius) Muell. Arg.....	31
1.3.4. Morfoanatomia de <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> Malme.....	34
1.3.5. Morfoanatomia de <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	37
1.3.6. Micrografia eletrônica de varredura.....	40
1.3.7. Descrições morfoanatômicas segundo Monachino, 1945.....	43
1.3.8. Quanto ao local de ocorrência.....	44
1.3.9. Morfoanatomia comparada das variedades estudadas.....	44
1.3.10. Estudos genéticos e filogenéticos de populações de <i>H. speciosa</i>	53
1.3.11. Chave dicotômica para as variedades de <i>Hancornia speciosa</i>	54
1.4. REFERÊNCIAS.....	55

CAPÍTULO II – ESTUDO DA VARIABILIDADE DAS CONCENTRAÇÕES DE RUTINA NAS FOLHAS DE QUATRO VARIEDADES DE <i>Hancornia speciosa</i> GOMES (APOCYNACEAE).....	67
RESUMO.....	68
ABSTRACT.....	68
2.1. INTRODUÇÃO.....	70
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	71
2.2.1. Coleta e processamento do material vegetal.....	71
2.2.2. Triagem de compostos fenólicos e flavonoides.....	73
2.2.3. Determinação das concentrações de rutina nos extratos.....	74
2.2.4. Análise por cromatografia a líquido de alta eficiência com detector de arranjos de diodos (CLAE-DAD).....	72
2.2.5. Quantificação de Rutina nos extratos vegetais.....	73
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
2.4. REFERÊNCIAS.....	93
CAPÍTULO III – DESENVOLVIMENTO E POTENCIAL PEDAGÓGICO DO <i>E-BOOK</i> 'MANGABA: UMA JOIA DO CERRADO' NA VALORIZAÇÃO DO BIOMA.....	97
RESUMO.....	98
ABSTRACT.....	98
3.1. INTRODUÇÃO.....	99
3.2. METODOLOGIA.....	100
3.2.1. Fase de Pesquisa: Levantamento Bibliográfico e Conteúdo.....	100
3.2.2. Elaboração do Conteúdo: Linguagem, Imagens e Estrutura Pedagógica.....	100
3.2.3. Design e Acessibilidade.....	101
3.2.4. Aplicação do E-book: Proposta de Implementação e Plano de Avaliação.....	101
3.2.4.1. Onde aplicar.....	101
3.2.4.2. Estratégias de Aplicação do E-book.....	101
3.2.4.3. Métodos de Avaliação da Receptividade e Aprendizado.....	102
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
3.4. REFERÊNCIAS.....	107
CONCLUSÃO GERAL.....	111

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Morfologia da folha de <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>gardineri</i> (A. DC.) Muell. Arg.	29
Figura 2. Anatomia do pecíolo e superfície foliar da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>gardineri</i> (A. DC.) Muell. Arg.	30
Figura 3. Anatomia foliar da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>gardineri</i> (A. DC.) Muell. Arg.	31
Figura 4. Morfologia da folha da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>pubescens</i> (Nees. e Martius) Muell. Arg.	32
Figura 5. Anatomia do pecíolo e superfície da folha da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>pubescens</i> (Nees. e Martius) Muell. Arg.	33
Figura 6. Anatomia foliar da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>pubescens</i> (Nees. e Martius) Muell. Arg.	34
Figura 7. Morfologia da folha da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> Malme	35
Figura 8. Anatomia do pecíolo e superfície foliar da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> Malme	36
Figura 9. Anatomia foliar da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> Malme	37
Figura 10. Morfologia da folha de <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	38
Figura 11. Anatomia do pecíolo e superfície foliar da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	39
Figura 12. Anatomia foliar da <i>Hancornia speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	40
Figura 13. Micrografia eletrônica de varredura de <i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i> , <i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> , <i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i> e <i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	42
Figura 14. Micrografia eletrônica de varredura da face abaxial das folhas de <i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i> , <i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i> , <i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> , <i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	43

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localidades de coleta das subpopulações de mangabeira do Cerrado representadas na coleção da EA/UFG	72
Figura 2. Cromatograma do <i>pool</i> no comprimento de onda de 280 nm	78
Figura 3. Cromatograma da amostra BA (<i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i>) no comprimento de onda de 280nm	78

Figura 4. Cromatograma da amostra ALE1 (<i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	79
Figura 5. Cromatograma da amostra CAC1 (<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	79
Figura 6. Cromatograma da amostra CAC2 (<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	80
Figura 7. Cromatograma da amostra CAC3 (<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	80
Figura 8. Cromatograma da amostra CHA1 (<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	81
Figura 9. Cromatograma da amostra CHA2 (<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	81
Figura 10. Cromatograma da amostra CHA3 (<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	82
Figura 11. Cromatograma da amostra JAL1 (<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	82
Figura 12. Cromatograma da amostra JAL2 (<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	83
Figura 13. Cromatograma da amostra JAL3 (<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>) no comprimento de onda de 280nm.....	83
Figura 14. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no <i>pool</i> (A); BA (B); e ALE1 (C).....	84
Figura 15. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no <i>pool</i> (A); CAC1 (B); e CAC2 (C); e CAC3 (D).....	84
Figura 16. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no <i>pool</i> (A); CHA1 (B); e CHA2 (C); e CHA3 (D).....	85
Figura 17. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no <i>pool</i> (A); CHA1 (B); e CHA2 (C); e CHA3 (D).....	85
Figura 18. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da substância química de referência (Rutina).....	86
Figura 19. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra CHA (<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>).....	87
Figura 20. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra CAC (<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>).....	87

Figura 21. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra JAL (<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>).....	88
Figura 22. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra BA (<i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i>).....	88
Figura 23. Curva de calibração da substância química de referência Rutina no intervalo de concentração de 50 a 1500 µg/mL.....	89
CAPÍTULO 3	
Figura 1. Caracterização do bioma Cerrado apresentado no e-book.....	104
Figura 2. Receita do bolo de mangaba e suco de mangaba, fornecidas no e-book.....	107

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Localidades das matrizes das mangabeiras do Cerrado representadas na coleção da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), em função da variedade botânica.....	26
Tabela 2. Representantes vegetais das quatro variedades de mangabeiras utilizadas no estudo.....	27
Tabela 3. Morfoanatomia comparada das quatro variedades de mangabeiras (<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i> , <i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> , <i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i> e <i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>).	46

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Municípios das matrizes, códigos das amostras, coordenadas dos indivíduos e códigos de depósito no Herbário da Universidade Estadual de Goiás.....	72
Tabela 2. Gradiente da fase móvel para caracterização do material vegetal.....	74
Tabela 3. Gradiente da fase móvel para quantificação de rutina no material vegetal.....	75
Tabela 4. Compostos identificados nas amostras analisadas.....	77
Tabela 5. Dados da curva analítica da SQR e das concentrações de rutina nas amostras CHA, CAC, JAL, ALE e BA.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAG: Banco Ativo de Germoplasma

CLAE: Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

CLAE-DAD: Cromatografia a Líquido de Alta Eficiência com Detector de Arranjos de Diodos

EA/UFG: Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás

HPLC: High-Performance Liquid Chromatography

HUEG: Herbário da Universidade Estadual de Goiás

LabMic/UFG: Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás

LC-MS: Liquid Chromatography Mass Spectrometry

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura

PNEA: Política Nacional de Educação Ambiental

ROS: Reactive Oxygen Species

SEK: Ecological Scientific Knowledge

SQR: Substância Química de Referência

TEK: Traditional Ecological Knowledge

TR: Tempo de Retenção

UFG: Universidade Federal de Goiás

UV: Ultravioleta

UV-Vis: Ultravioleta-Visível

RESUMO GERAL

Hancornia speciosa Gomes, conhecida como mangabeira, é uma espécie nativa do Cerrado brasileiro, de grande importância ecológica e econômica, sendo utilizada na alimentação e indústria farmacêutica. No entanto, a diferenciação taxonômica de suas variedades botânicas ainda apresenta desafios, devido à sobreposição de características morfológicas e à falta de estudos comparativos detalhados. Diante disso, este estudo teve como objetivo caracterizar a morfologia, anatomia e composição química foliar de quatro variedades botânicas (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri* e *H. speciosa* var. *pubescens*), cultivadas em um banco de germoplasma *ex situ* da Universidade Federal de Goiás (UFG), contribuindo para o esclarecimento taxonômico da espécie, além do desenvolvimento de uma cartilha digital (e-book), a fim de popularização científica. Para isso, análises morfológicas e anatômicas foram realizadas utilizando microscopia de luz e eletrônica de varredura (MEV). Os resultados demonstraram diferenças entre as variedades, principalmente em relação à filotaxia, formato e tamanho das folhas, disposição dos estômatos e presença de tricomas. A variedade *H. speciosa* var. *pubescens* apresentou folhas pilosas com tricomas tectores abundantes, além de estômatos localizados em depressões na epiderme abaxial, o que pode representar uma adaptação xeromórfica. Já *H. speciosa* var. *cuyabensis* destacou-se por possuir filotaxia verticilada, característica única dentro do grupo estudado. As análises histológicas revelaram que todas as variedades apresentaram mesofilo dorsiventral, presença de feixes vasculares bicolaterais e abundantes laticíferos. A análise comparativa permitiu estabelecer um conjunto de caracteres anatômicos que podem auxiliar na identificação taxonômica das variedades e no controle de qualidade de derivados vegetais da mangabeira. A composição química das folhas foi analisada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), com foco na quantificação do flavonoide rutina, que possui propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Os resultados mostraram diferenças significativas nos teores de rutina entre variedades, evidenciando uma variação intraespecífica. A variedade *H. speciosa* var. *speciosa* apresentou os maiores teores de rutina, indicando um maior potencial farmacológico e antioxidante. *H. speciosa* var. *gardneri* e *H. speciosa* var. *pubescens* também apresentaram níveis expressivos desses compostos, sugerindo sua aplicabilidade na indústria farmacêutica. Porém, análises sazonais são necessárias para verificar se as concentrações de rutina são estáveis ao longo do ano. Os dados obtidos reforçam a hipótese de que diferentes variedades botânicas da espécie podem apresentar potenciais distintos para aplicações biotecnológicas, tornando-se relevantes para futuras pesquisas sobre controle de qualidade e uso sustentável da planta. Por fim, foi elaborado um e-book, utilizando os resultados obtidos nos capítulos anteriores. O e-book fornece informações gerais sobre o Cerrado, características sobre a mangaba, receitas e atividades sobre o tema. Os resultados obtidos nesta dissertação contribuem para a diferenciação taxonômica de *Hancornia speciosa*. A caracterização morfoanatômica e química dessas variedades permite não apenas um avanço no conhecimento sobre a biodiversidade do Cerrado, mas também abre possibilidades para o aproveitamento sustentável da espécie na produção de bioprodutos.

Palavras-Chave: mangabeira, taxonomia, banco de germoplasma, rutina, recurso didático.

GENERAL ABSTRACT

Hancornia speciosa Gomes, known as mangabeira, is a native species of the Brazilian Cerrado with significant ecological and economic importance, being utilized in the food and pharmaceutical industries. However, the taxonomic differentiation of its botanical varieties remains challenging due to overlapping morphological characteristics and the lack of detailed comparative studies. Therefore, this study aimed to characterize the morphology, anatomy, and foliar chemical composition of four botanical varieties (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri*, and *H. speciosa* var. *pubescens*), cultivated in an ex situ germplasm bank at the Federal University of Goiás (UFG). This work intends to contribute to the taxonomic clarification of the species and includes the development of a digital booklet (e-book) for scientific popularization. To this end, morphological and anatomical analyses were conducted using light microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The results demonstrated differences among the varieties, particularly concerning phyllotaxis, leaf shape and size, stomatal arrangement, and trichome presence. *H. speciosa* var. *pubescens* exhibited pilose leaves with abundant tector trichomes, as well as stomata located in depressions on the abaxial epidermis, which may represent a xeromorphic adaptation. *H. speciosa* var. *cuyabensis* was distinguished by its whorled phyllotaxis, a unique feature within the studied group. Histological analyses revealed that all varieties possessed a dorsiventral mesophyll, bicollateral vascular bundles, and abundant laticifers. The comparative analysis established a set of anatomical characters that can aid in the taxonomic identification of the varieties and in the quality control of mangabeira-derived products. The chemical composition of the leaves was analyzed by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), focusing on the quantification of the flavonoid rutin, which has antioxidant and anti-inflammatory properties. The results showed significant differences in rutin content among the varieties, indicating intraspecific variation. *H. speciosa* var. *speciosa* presented the highest levels of rutin, suggesting greater pharmacological and antioxidant potential. *H. speciosa* var. *gardneri* and *H. speciosa* var. *pubescens* also showed notable levels of these compounds, suggesting their applicability in the pharmaceutical industry. However, seasonal analyses are required to verify if rutin concentrations are stable throughout the year. The data obtained support the hypothesis that different botanical varieties of the species may have distinct potentials for biotechnological applications, making them relevant for future research on quality control and the sustainable use of the plant. Finally, an e-book was created using the results from the preceding chapters. The e-book provides general information about the Cerrado, characteristics of the mangaba fruit, recipes, and related activities. The findings of this dissertation contribute to the taxonomic differentiation of *Hancornia speciosa*. The morpho-anatomical and chemical characterization of these varieties not only advances the knowledge of Cerrado biodiversity but also opens avenues for the sustainable utilization of the species in the production of bioproducts.

Keywords: mangabeira, taxonomy, germplasm bank, rutin, educational resource.

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado, também conhecido como Savana Brasileira, é o segundo maior domínio geográfico do Brasil, ocupando aproximadamente 22% do território nacional. É caracterizado por sua vegetação diversificada, composta por gramíneas, arbustos e árvores esparsas (Eiten, 1977; Ribeiro *et al.*, 1981; Ribeiro & Walter, 1998), além de abrigar uma rica biodiversidade, incluindo várias espécies endêmicas. Apesar de sua importância ecológica, o Cerrado enfrenta uma intensa perda de habitat devido à expansão agrícola, especialmente para o cultivo de soja e pecuária (Sano *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2022).

A transformação de vastas áreas de Cerrado em monoculturas leva à fragmentação dos habitats naturais e degradação do solo e resulta na perda de biodiversidade e degradação dos serviços ecossistêmicos (Klink & Machado, 2005; Bonanomi *et al.*, 2019; Coelho *et al.*, 2020). Desde a ocupação do Cerrado, no início da década de 1970, espécies sofrem o que os autores chamam de acelerado processo de erosão genética, o que impossibilita o conhecimento total dos recursos genéticos da espécie (Almeida *et al.*, 1998). Tal conhecimento acerca do desenvolvimento e variabilidade genética de espécies nativas, permite traçar estratégias de conservação eficientes da espécie (Costa *et al.*, 2011).

Uma das estratégias utilizadas para conservação genética vegetal são as coleções botânicas *ex situ*, que desempenham um papel fundamental ao possibilitar uma ampla gama de atividades científicas. Essas coleções são caracterizadas pela conservação de espécies fora de seu ambiente natural. O banco de germoplasma é uma modalidade usada na conservação *ex situ*. Essas coleções abrem portas para estudos em áreas como taxonomia, ecologia, fisiologia, bioquímica, sistemática, genética, biotecnologia e evolução (Camadro & Rimieri, 2021; Engels & Ebert, 2021). Além disso, essas coleções são valiosas como espaços de educação e inovação, buscando preservar a riqueza da diversidade vegetal. Para Costa e colaboradores (2011), os Bancos Ativos de Germoplasma (BAGs) são uma alternativa para a conservação dos recursos genéticos vegetais.

No estado de Goiás, a Universidade Federal de Goiás organizou um banco de germoplasma em Dezembro de 2005, para a mangaba, que contempla a representação *ex situ* e *in vivo* de progênies de diversas áreas geográficas do Cerrado brasileiro, de quatro das seis variedades botânicas de *Hancornia speciosa* descritas por Monachino (1945): *H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis* Malme, *H. speciosa* var. *gardneri* (A. DC.) Muell. Arg., *H. speciosa* var. *pubescens* (Nees. e Martius) Muell. Arg. Alguns trabalhos já foram

desenvolvidos para a caracterização desta coleção, como o desenvolvimento de marcadores microsatélites para a espécie (Rodrigues *et al.*, 2015), análises químicas para fim de taxonomia das variedades de *H. speciosa* (Flores *et al.*, 2018) e variação genética quantitativa e molecular entre variedades e subpopulações de *H. speciosa* (Chaves *et al.*, 2020), além de análise filogenética (Terto *et al.*, 2024). Esses estudos corroboram a ocorrência das quatro variedades pertencentes ao banco de germoplasma, assim como sua diferenciação utilizando diversas ferramentas.

O gênero *Hancornia* é monoespecífico e apresenta seis variedades para a espécie *Hancornia speciosa*: var. *speciosa* Gomes, var. *maximiliani* A. DC., var. *cuyabensis* Malme, var. *lundii* A. DC., var. *gardneri* (A. DC.) Muell. Arg. e var. *pubescens* (Nees. Et. Martius) Muell. Arg. (Monachino, 1945). No Brasil, a espécie é popularmente conhecida como mangabeira, ocorre nas regiões Norte (Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Tocantins), Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso), Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo) e Sul (Paraná) (Koch *et al.*, 2015). Também é encontrada em países vizinhos como Paraguai, Bolívia, Peru e Venezuela (Nogueira & Albuquerque, 2006). Habita predominantemente solos arenosos, ácidos, pobres em nutrientes e matéria orgânica e com baixa retenção de água, típicos das regiões de cerrados e tabuleiros costeiros, embora se desenvolva bem em solos com maior teor de argila e matéria orgânica (Vieira Neto, 1994).

Mangaba, como é conhecido o fruto, deriva da palavra indígena (mã' gawa), que significa “coisa boa de comer”. Devido ao seu sabor e valor nutritivo elevado, a mangaba possui um alto interesse agroindustrial, principalmente pela utilização do fruto, do qual se pode obter a polpa, para consumo *in natura*, ou até mesmo sorvetes, licores, doces, geleias, vinagres, refrescos e vinhos (Nogueira & Albuquerque, 2006; Freitas *et al.*, 2012).

Além da exploração agroindustrial obtida principalmente pelo extrativismo, a espécie é estudada pelo seu potencial farmacológico. Estudos mostraram atividades antidiabética (Pereira *et al.*, 2015), gastroprotetora (Moraes *et al.*, 2008), citotóxica (Ribeiro *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2016) e anti-inflamatória derivadas do látex de *H. speciosa* (Marinho *et al.*, 2011) e extratos de frutos (Torres-Rêgo *et al.*, 2016; Bitencourt *et al.*, 2019). Embora a espécie seja muito estudada em relação a sua bioatividade, os trabalhos realizados até hoje não identificam a espécie ao nível das variedades, o que pode ser um fator essencial para o controle de qualidade de muitos estudos, visto a possibilidade de variabilidade de compostos químicos nessas variedades.

Apesar do amplo conhecimento, a classificação taxonômica das variedades de *H. speciosa* é bastante discutida, devido sua diferenciação morfológica complexa (Flores *et al.*, 2018; Nogueira *et al.*, 2015). Estudos anatômicos e morfológicos comparativos poderão enriquecer os dados para a espécie e além disso, gera uma alternativa taxonômica entre as variedades que podem ajudar na identificação dessas espécies com maior potencial econômico, por produzirem frutos maiores e compostos de interesse farmacológico.

No primeiro capítulo desta dissertação, será apresentada a morfoanatomia das variedades de *H. speciosa* presentes no banco de germoplasma da UFG, contribuindo com dados que auxiliarão na distinção taxonômica das variedades. Ademais, serão estabelecidos os padrões morfoanatômicos das espécies mantidas na coleção *ex situ*, que poderão ser utilizados no controle de qualidade de matérias primas de *H. speciosa* utilizadas na obtenção de bioprodutos. O estudo dos compostos fenólicos, que está presente no segundo capítulo, permitirá conhecer a variabilidade intraespecífica da composição química em *H. speciosa* e apontar potenciais aplicabilidades farmacêuticas e/ou biotecnológicas, assim como, fornecer dados para quimiotaxonomia da espécie. Por fim, será disponibilizado, em anexo, um e-book dedicado à mangabeira. O material abordará suas características biológicas, relevância ecológica, potencial de uso sustentável e sua relação com a conservação do Cerrado. Além disso, o e-book será estruturado para servir como recurso didático e apoio em oficinas educativas, promovendo maior compreensão e valorização da Mangabeira e do Cerrado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. P. *et al.* **Cerrado**: espécies vegetais úteis. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 464 p.

BITENCOURT, M. A. O. *et al.* Protective effect of aqueous extract, fractions and phenolic compounds of *Hancornia speciosa* fruits on the inflammatory damage in the lungs of mice induced by *Tityus serrulatus* envenomation. **Toxicon**, v. 164, p. 1–9, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.03.018>

BONANOMI, J. *et al.* Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 1, p. 26–31, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.12.002>

CAMADRO, E. L.; & RIMIERI, P. Ex situ plant germplasm conservation revised at the light of mechanisms and methods of genetics; Sociedad Argentina de Genética. **Basic and Applied Genetics**, v. 32, n. 1, p. 11–24, 2021. <https://dx.doi.org/10.35407/bag.2020.32.01.02>

- CHAVES, L. J. *et al.* Quantitative and molecular genetic variation among botanical varieties and subpopulations of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae). **Tree Genetics & Genomes**, v. 16, n. 4, p. 1–11, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11295-020-01444-0>
- COELHO, A. J. P. *et al.* Effects of anthropogenic disturbances on biodiversity and biomass stock of Cerrado, the Brazilian savanna. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, p. 3151–3168, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02013-6>
- COSTA, T. S. *et al.* Genetic diversity of accessions of de mangaba germplasm bank in Sergipe, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 499–508, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000500007>
- EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. **Arquivos do Jardim Botânico**, v. 21, p. 125–134, 1977.
- ENGELS, J. M.; & EBERT, A. W. A critical review of the current global ex situ conservation system for plant agrobiodiversity. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1557, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10081557>
- FLORES, I. S. *et al.* HR-MAS NMR allied to chemometric on *Hancornia speciosa* varieties differentiation. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, p. 708–714, 2018. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170191>
- FREITAS, M. D. *et al.* Phenotypic variability and morphologic characterization of a natural population of *Hancornia speciosa* Gomes. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 833–841, 2012.
- KLINK, C. A.; & MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>
- KOCH, I. *et al.* **Apocynaceae**. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15557>. Acesso em: 13 de Dez. de 2022.
- MARINHO, D. G. *et al.* The latex obtained from *Hancornia speciosa* Gomes possesses anti-inflammatory activity. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 135, p. 530–537, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.059>
- MORAES, T. M. *et al.* *Hancornia speciosa*: indications of gastroprotective, healing and anti-Helicobacter pylori actions. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 120, p. 161–168, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.08.001>
- MONACHINO, J. A revision of *Hancornia* (Apocynaceae). **Lilloa**, Tucumán, v. 11, p. 19–48, 1945.
- NOGUEIRA, C. A. *et al.* Intraspecific differentiation of *Hancornia speciosa* revealed by simple sequence repeat and random amplified polymorphic DNA markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 15996–16005, 2015.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; & ALBUQUERQUE, M. B. Ecofisiologia. In: Silva-Junior, J. F.; Lédio (eds.). **A cultura da Mangaba**. Brasília: Embrapa Tabuleiros Costeiro, v. 1, n. 2, p. 36–42, 2006.

PEREIRA, A. C. *et al.* *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) as a potential anti-diabetic drug. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 161, p. 30–35, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.11.050>

RIBEIRO, J. F. *et al.* **Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicas da vegetação do Cerrado**. In: Anais do XXXII Congresso Nacional de Botânica. Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, 1981. p. 124–133.

RIBEIRO, J. F.; & WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado (cap. 3). In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 87–166.

RIBEIRO, S. S. *et al.* Evaluation of the Cytotoxic Activity of Some Brazilian Medicinal Plants. **Planta Med**, v. 78, n. 14, p. 1601–1606, 2012. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1315043>

RIBEIRO, T. P. *et al.* Evaluation of cytotoxicity and genotoxicity of *Hancornia speciosa* latex in *Allium cepa* root model. **Brazilian Journal of Biology**, v. 76, n. 1, p. 245–249, 2016. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.20114>

RODRIGUES, A. J. L. *et al.* Development of microsatellite markers for *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae). **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 7274–7278, 2015. <http://dx.doi.org/10.4238/2015.July.3.2>

SANO, E. E. *et al.* Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113–124, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>

SANTOS, U. P. *et al.* Antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties as well as the phenolic content of the extract from *Hancornia speciosa* Gomes. **PLoS One**, v. 11, p. 1–19, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167531>

TERTO, J. *et al.* The genetic structure of *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) reveals two botanical varieties. **Plant Systematics and Evolution**, v. 310, n. 5, p. 35, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00606-024-01919-w>

TORRES-RÊGO, M. *et al.* Anti-inflammatory activity of aqueous extract and bioactive compounds identified from the fruits of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae). **BMC Complementary Alternative Medicine**, v. 16, 275, 2016. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1259-x>

VIERA, L. T.; AZEVEDO, T. N.; CASTRO, A. A.; & MARTINS, F. R. Reviewing the Cerrado's limits, flora distribution patterns, and conservation status for policy decisions. **Land Use Policy**, v. 115, 106038, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lup.2022.106038>

VIERA NETO, R. D. **Cultura da mangabeira**. Aracaju: Embrapa/CPATC, 1994.

CAPÍTULO I

MORFOANATOMIA FOLIAR DE QUATRO VARIEDADES DE *HANCORNIA SPECIOSA* GOMES (APOCYNACEAE) CULTIVADAS EM BANCO DE GERMOPLASMA (*EX SITU* E *IN VIVO*)

RESUMO

A mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) é uma espécie nativa do Cerrado brasileiro com grande importância ecológica e econômica, sendo explorada principalmente na indústria alimentícia. No entanto, a diferenciação taxonômica de suas variedades botânicas ainda carece de estudos mais detalhados, especialmente morfologia e anatomia foliar. Diante disso, este estudo teve como objetivo caracterizar as folhas de quatro variedades botânicas (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri* e *H. speciosa* var. *pubescens*), cultivadas em um banco de germoplasma *ex situ* da Universidade Federal de Goiás (UFG). Para isso, foram realizadas análises morfológicas e anatômicas utilizando microscopia de luz e eletrônica de varredura (MEV). Os resultados mostraram diferenças significativas na filotaxia, formato e dimensões foliares entre as variedades. *H. speciosa* var. *speciosa* apresentou folhas estreito-elípticas, com largura média de $1,62 \pm 0,16$ cm e comprimento de $5,20 \pm 0,70$ cm. *H. speciosa* var. *cuyabensis* destacou-se pela filotaxia verticilada, com folhas obovadas, largura de $4,88 \pm 0,34$ cm e comprimento de $9,50 \pm 0,92$ cm. *H. speciosa* var. *gardneri* apresentou folhas oblanceoladas, com $3,68 \pm 0,70$ cm de largura e $8,13 \pm 2,37$ cm de comprimento, enquanto *H. speciosa* var. *pubescens* exibiu folhas maiores, com $6,20 \pm 0,26$ cm de largura e $11,33 \pm 1,04$ cm de comprimento, além de possuir tricomas tectores densos, conferindo uma textura pilosa à face abaxial da folha. A análise anatômica revelou que todas as variedades possuem mesofilo dorsiventral, feixes vasculares bicolaterais e epiderme unisseriada revestida por cutícula espessa, mas com variações estruturais. *H. speciosa* var. *pubescens* apresentou estômatos localizados em depressões na epiderme abaxial, uma adaptação xeromórfica, enquanto as demais variedades apresentaram estômatos nivelados à epiderme. Além disso, diferenças na conformação dos feixes vasculares e na quantidade de colênquima de sustentação foram observadas na nervura central das folhas, sendo mais robustos em *H. speciosa* var. *gardneri* e menos desenvolvidos em *H. speciosa* var. *speciosa*. A caracterização morfoanatômica detalhada permitiu estabelecer um conjunto de caracteres que auxiliam na diferenciação taxonômica das variedades de *H. speciosa*. Além disso, os achados reforçam a importância da anatomia vegetal como ferramenta para a identificação e padronização de matérias-primas vegetais, contribuindo para estratégias de conservação e aplicações biotecnológicas da espécie.

Palavras-chave: mangabeira, anatomia foliar, estômatos, filotaxia, taxonomia.

ABSTRACT

The mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) is a species native to the Brazilian Cerrado with significant ecological and economic importance, being primarily exploited in the food industries. However, the taxonomic differentiation of its botanical varieties remains understudied, particularly in terms of leaf morphology and anatomy. In this context, this study aimed to characterize the leaves of four botanical varieties (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri*, and *H. speciosa* var. *pubescens*), cultivated in an *ex situ* germplasm bank at the Federal University of Goiás (UFG). For this purpose, morphological and anatomical analyses were performed using light microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The results revealed significant differences in phyllotaxy, leaf

shape, and dimensions among the varieties. *H. speciosa* var. *speciosa* exhibited narrow-elliptical leaves, with an average width of 1.62 ± 0.16 cm and a length of 5.20 ± 0.70 cm. *H. speciosa* var. *cuyabensis* was distinguished by its verticillate phyllotaxy, with obovate leaves measuring 4.88 ± 0.34 cm in width and 9.50 ± 0.92 cm in length. *H. speciosa* var. *gardneri* presented oblanceolate leaves, 3.68 ± 0.70 cm wide and 8.13 ± 2.37 cm long, while *H. speciosa* var. *pubescens* had the largest leaves, measuring 6.20 ± 0.26 cm in width and 11.33 ± 1.04 cm in length. Additionally, this variety exhibited dense tector trichomes, giving the abaxial leaf surface a pilose texture. Anatomical analysis revealed that all varieties have dorsiventral mesophyll, bicollateral vascular bundles, and a uniseriate epidermis covered by a thick cuticle, but with structural variations. *H. speciosa* var. *pubescens* displayed stomata located in depressions on the abaxial epidermis, an adaptation to xeromorphic environments, whereas the other varieties had stomata level with the epidermis. Additionally, differences were observed in the organization of vascular bundles and the amount of collenchyma tissue supporting the midrib, with a more robust structure in *H. speciosa* var. *gardneri* and less developed in *H. speciosa* var. *speciosa*. The detailed morpho-anatomical characterization allowed for the identification of diagnostic traits that aid in the taxonomic differentiation of *H. speciosa* varieties. Moreover, these findings reinforce the importance of plant anatomy as a tool for the identification and standardization of plant raw materials, contributing to conservation strategies and biotechnological applications of the species.

Keywords: mangabeira, leaf anatomy, stomata, phyllotaxy, taxonomy.

1.1. INTRODUÇÃO

A família Apocynaceae é uma das maiores famílias das angiospermas. Incluída em Gentianales, abarca cerca de 380 gêneros e 5350 espécies, que podem ser encontradas, principalmente nos trópicos e subtropicais do planeta (Endress *et al.*, 2018; Farias *et al.*, 2021; Heimbach & Farinaccio, 2021). No Brasil, segundo Flora e Funga do Brasil (2022), a família compreende 94 gêneros e 974 espécies das quais, 435 são endêmicas. Os membros de Apocynaceae incluem arbustos, plantas lenhosas ou herbáceas contendo látex leitoso (Metcalf & Chalk, 1950; Bhadane *et al.*, 2018). O gênero *Hancornia* é monoespecífico e 6 variedades foram descritas em 1945 por Monachino, utilizando os caracteres morfológicos das folhas e flores, sendo: *H. speciosa* Gomes ou *H. speciosa* var. *speciosa* (variedade típica), *H. speciosa* var. *maximiliani* A. DC., *H. speciosa* var. *cuyabensis* Malme, *H. speciosa* var. *lundii* A. DC., *H. speciosa* var. *gardneri* (A. DC.) Muell. Arg., *H. speciosa* var. *pubescens* (Nees. et Martius) Muell. Arg.

Mangabeira como é conhecida a espécie, ocorre no Brasil e outros países da América do Sul. No Brasil ocorre nos biomas do Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (Koch *et al.*, 2015). O fruto é conhecido como mangaba e é muito apreciado por seu sabor e valor nutricional, sendo consumido *in natura* ou processado como doces, sucos, sorvetes, licores e geleias (Costa *et al.*, 2011; Narain *et al.*, 2018). Diversas partes da planta têm sido objetos de estudos que revelam diversas propriedades farmacêuticas. O fruto possui atividade antioxidante (Rufino *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2011; Barreiros *et al.*, 2012; Morgado *et al.*, 2020; Guimarães *et al.*, 2023; Martins *et al.*, 2023); as folhas possuem efeitos hepatoprotetores (Ribeiro *et al.*, 2023), potencial quimiopreventivo (Endringer *et al.*, 2010), atividade antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e antimutagênica (Santos *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2018); a casca também possui atividade antioxidante além da atividade anticolinesterásica (Penido *et al.*, 2017); por fim, o látex possui atividade hipoglicêmica (Tomazi *et al.*, 2021), efeito angiogênico (Almeida *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2019; D'Abadia *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2023), atividade anti-inflamatória (Marinho *et al.*, 2011), e potencial osteogênico (Neves *et al.*, 2016).

A quantidade de variedades botânicas tem dificultado a sua identificação (Flores *et al.*, 2018; Nogueira *et al.*, 2015). Abdalla e colaboradores (2021) realizaram um estudo anatômico e histoquímico dos frutos dessas mesmas quatro variedades botânicas a fim de contribuir para a identificação taxonômica. Assim como Campos e colaboradores (2021) realizaram um estudo anatômico e histoquímico da folha e pecíolo aplicado ao controle de qualidade para a espécie

típica. Ambos os estudos evidenciaram a presença de compostos fenólicos, assim como lipídios e proteínas no fruto e taninos, alcaloides, triterpenos e esteroides nas folhas. Carecem estudos de morfologia externa da folha, assim como estudos de anatomia aplicado a taxonomia vegetal com as variedades existentes.

Estudos comparados de morfoanatomia podem facilitar a identificação dessas variedades. Além de contribuírem com o conhecimento detalhado das características anatômicas para a caracterização da espécie e para o esclarecimento das variedades botânicas, esses estudos somados aos dados genéticos, podem ser usados para desenvolver estratégias de conservação e manejo sustentável de espécies importantes, tanto ecológica quanto economicamente (Devecchi et al., 2014). O objetivo deste capítulo foi descrever as características morfoanatômicas das folhas das variedades *H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *gardineri*, *H. speciosa* var. *cuyabensis* e *H. speciosa* var. *pubescens*, pertencentes ao banco de germoplasma da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG).

1.2. MATERIAIS E MÉTODOS

1.2.1. Obtenção do material vegetal

Neste estudo foram utilizadas folhas jovens, completamente expandidas, coletadas abaixo do terceiro nó de mangabeiras pertencentes à coleção de germoplasma da EA/UFG. O banco de germoplasma da EA/UFG contempla a representação *ex situ* e *in vivo* de progênies de diversas áreas geográficas do Cerrado brasileiro, de quatro variedades botânicas de *Hancornia speciosa*: *H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis* Malme, *H. speciosa* var. *gardineri* (A. DC.) Muell. Arg., *H. speciosa* var. *pubescens* (Nees. e Martius) Muell. Arg. (Tabela 1) e foi implementado em Dezembro de 2005.

Tabela 1. Localidades das matrizes das mangabeiras do Cerrado representadas na coleção da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), em função da variedade botânica.

VARIEDADE BOTÂNICA	MUNICÍPIO - ESTADO	Nº DE INDIVÍDUOS	
		POR MUNICÍPIO	POR VARIEDADE BOTÂNICA
<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>	Porangatu - GO	3	66
	Alvorada do Norte - GO	3	
	Matrinchã - GO	5	
	Goiás - GO	3	
	Silvânia - GO	4	

	Luziânia - GO	3	
	Pirenópolis – GO	8	
	Piranhas - GO	2	
	General Carneiro – MT	5	
	Sonora – MS	6	
	Coxim – MS	6	
	Costa Rica - MS	2	
	Alcinópolis – MS	6	
	Chapadão do Sul - MS	3	
	Caçu – GO	6	
	Orizona – GO	1	
<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>	Chapada dos Guimarães – MT	6	11
	Rondonópolis- MT	5	
<i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i>	Campinorte - GO	3	7
	Alexânia - GO	4	
	Jalapão – TO	6	
	Ponte Alta - TO	1	
	Mateiro - TO	1	
<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	Dianópolis - TO	2	
	São Desidério - BA	1	11
Sem identificação	Japonvar – MG	18	18

Fonte: adaptada de Rodrigues (2009).

Foram coletados três indivíduos de cada variedade a fim de ter representatividade botânica nas análises morfológicas e anatômicas. Um espécime de cada indivíduo foi depositado no Herbário da Universidade Estadual de Goiás (HUEG) com os números de tombo e coordenadas geográficas de cada variedade apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Representantes vegetais das quatro variedades de mangabeiras utilizadas no estudo.

Grupo	Município- Estado	Código	Latitude (S)	Longitude (O)	Variedade Botânica	Código HUEG
1	Barro Alto- GO	BA	16° 35' 38.580"	49° 17' 25.404"	<i>H. speciosa</i>	16810
	Alexânia- GO	ALE1	16° 35' 38.688"	49° 17' 25.044"	var.	16808
		ALE2	16° 35' 38.868"	49° 17' 26.088"	<i>pubescens</i>	16809
2	Caçu- GO	CAC1	16° 35' 38.976"	49° 17' 25.080"	<i>H. speciosa</i>	16805
		CAC2	16° 35' 38.832"	49° 17' 25.944"	var.	16806
		CAC3	16° 35' 38.472"	49° 17' 26.340"	<i>gardineri</i>	16807
3	Chapada dos Guimarães- MT	CHA1	16° 35' 38.472"	49° 17' 25.368"	<i>H. speciosa</i>	16812
		CHA2	16° 35' 38.688"	49° 17' 25.260"	var.	16813
		CHA3	16° 35' 39.300"	49° 17' 26.088"	<i>cuyabensis</i>	16814
4	Jalapão- TO	JAL1	16° 35' 38.994"	49° 17' 26.016"	<i>H. speciosa</i>	
		JAL2	16° 17' 25.404"	49° 17' 25.404"	var.	
		JAL3	16° 35' 37.644"	49° 17' 27.744"	<i>speciosa</i>	16811

Fonte: Autor (2025).

1.2.2. Morfologia vegetal

Para análise morfológica e morfometria das folhas foram coletados ramos expandidos e folhas a partir do terceiro nó de cada indivíduo e fotografados com uma câmera de celular (modelo Iphone 14 plus). A morfometria foi realizada analisando a porção mediana do limbo das folhas recém coletadas.

1.2.3. Anatomia vegetal

1.2.3.1. Caracterização anatômica – Fragmentos de folhas de aproximadamente 5 mm² da região mediana, ápice e base, e fragmentos da região mediana do pecíolo foram fixados em FAA (formaldeído 37%, ácido acético e álcool etílico a 70%; 1:1:18 v/v), estocados em álcool etílico 70% (Johansen, 1940), desidratados em série etanólica e incluídos em metacrilato (Historesin, Leica Instruments, Heidelberg, Alemanha) para confecção de lâminas permanentes. Os cortes foram realizados em um micrótomo rotativo de avanço automático (Modelo RM2125 RTS, Leica Biosystems, Heidelberg, Alemanha) com 5 - 6 µm de espessura.

As lâminas permanentes foram coradas com azul de toluidina a 0,05% em tampão fosfato pH 4,7 (O'Brien *et al.*, 1964), montadas em verniz vitral incolor (Acrilex®). Já as lâminas semipermanentes foram obtidas através de cortes a mão livre e coradas com azul de astra e safranina 9:1 v/v (Bukatsch, 1972, modificado), montadas em glicerina 50% (Purvis *et al.*, 1964). As imagens foram obtidas por meio de um microscópio de luz (Modelo DM500, Leica Microsystems, Heidelberg, Alemanha), equipado com câmera digital (Leica ICC50 W) e software de captura de imagens (LAS EZ).

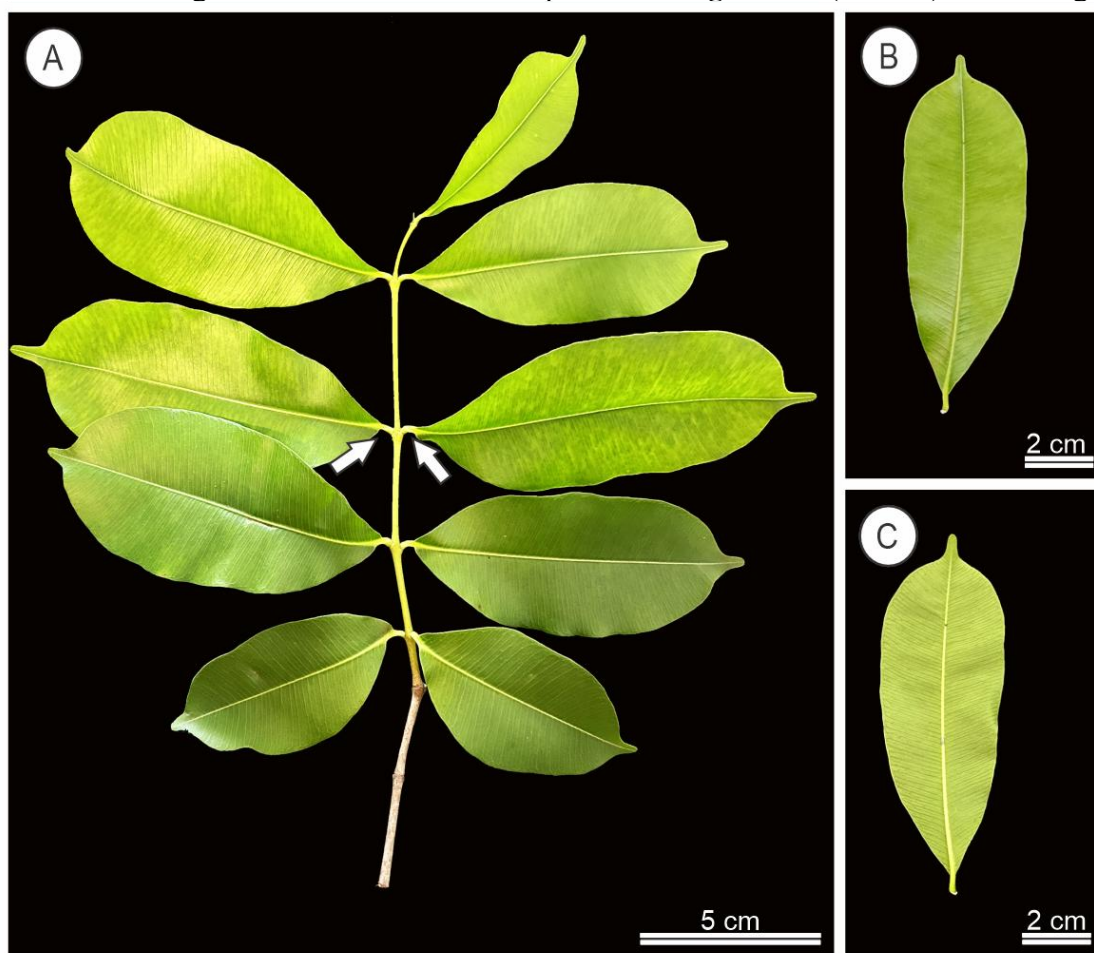
1.2.3.2. Microscopia eletrônica de varredura - Folhas das variedades estudadas foram analisadas em microscopia eletrônica de varredura (MEV) a partir do material fixado em FAA (formaldeído 37%, ácido acético e álcool a 70%; 1:1:18 v/v) e estocado em álcool etílico 70%. As amostras foram desidratadas em série etanólica e levadas para secagem em ponto crítico (Bozzola & Russel, 1992). A seguir, as amostras foram fixadas nos *stubs* com fita dupla face e metalizadas no sistema para deposição de filmes de ouro no equipamento Sputter, Denton Vacuum, Desk V. A observação e a captura de imagens foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo Jeol, JSM-6610, equipado com EDS, Thermo scientific NSS Spectral Imaging. A análise foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás (LabMic/UFG).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. Morfologia geral – As folhas das quatro variedades apresentam coloração verde-escura na face adaxial e mais clara na abaxial. São simples, pecioladas, margens inteiras e textura coriácea.

1.3.2. Morfoanatomia de Hancornia speciosa var. gardneri (A. DC.) Muell. Arg. – quanto a filotaxia, as folhas são opostas dísticas (Fig. 1A). Apresentam formato oblanceolado, com ápice acuminado e base aguda (Fig. 1B e 1C). A largura da folha é de $3,68 \pm 0,70$ cm e comprimento de $8,13 \pm 2,37$ cm.

Figura 1. Morfologia da folha de *Hancornia speciosa* var. *gardneri* (A. DC.) Muell. Arg.



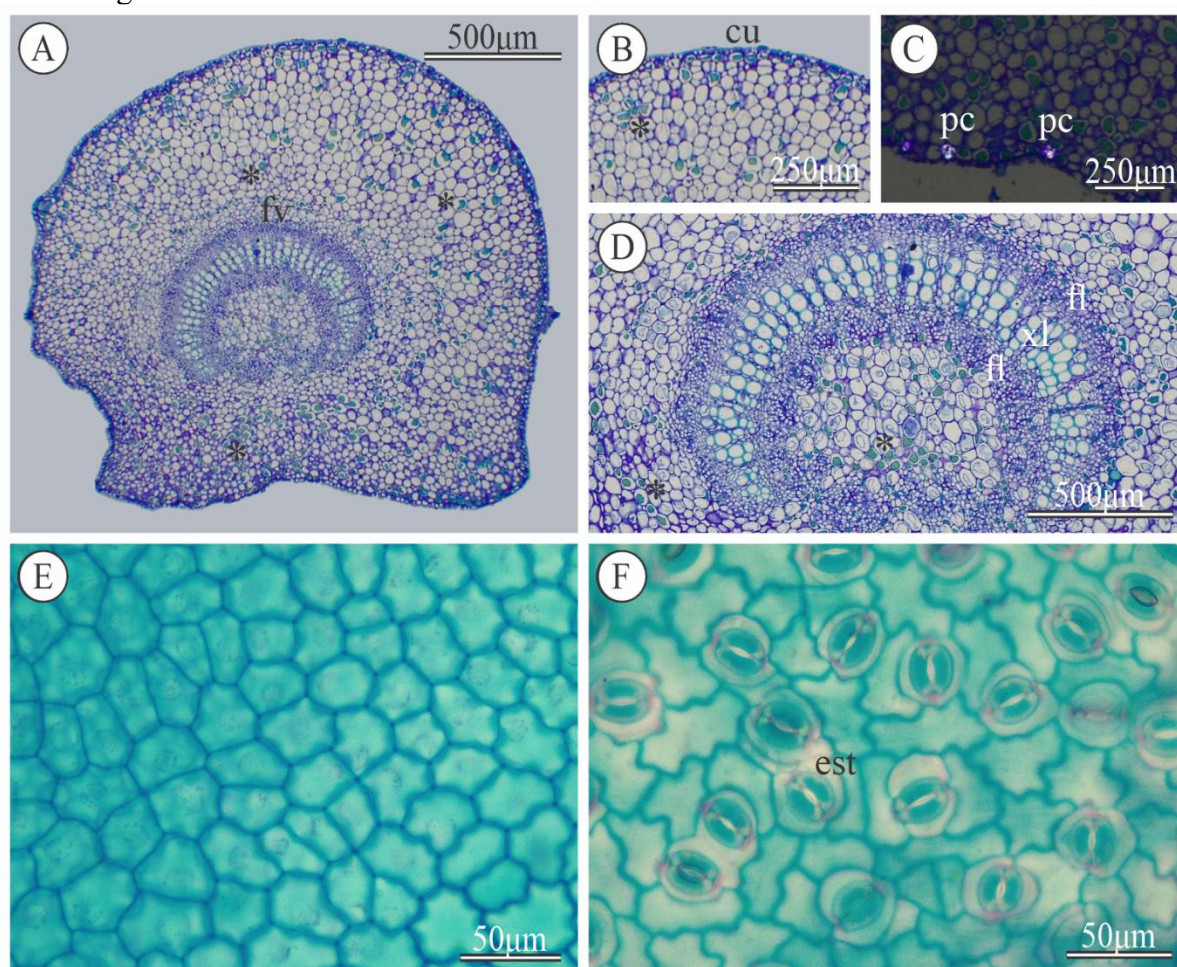
Legenda: A: filotaxia, seta mostrando a inserção do pecíolo no caule. B-C: folha adaxial e abaxial, respectivamente.

Em corte transversal, os pecíolos da variedade *H. speciosa* var. *gardneri* são côncavos-convexos e apresentam duas projeções laterais na região inferior (Fig. 2A). A epiderme do pecíolo é unisseriada e é revestida por uma espessa camada de cutícula (Fig. 2B). Cristais prismáticos podem ser observados próximos à epiderme (Fig. 2C). No parênquima estão

distribuídos diversos laticíferos (Fig. 2D). O feixe vascular é bicolateral e possui formato de arco com abertura na região abaxial (Fig. 2D).

No corte paradérmico, as células da epiderme adaxial possuem vários tamanhos e são irregulares, com paredes anticlinais retas e algumas sinuosas (Fig. 2E). Na face abaxial, a epiderme possui paredes celulares anticlinais sinuosas e estômatos do tipo anomocítico ocorrem em maior quantidade, mas também pode-se observar estômatos do tipo anisocítico (Fig. 2F).

Figura 2. Anatomia do pecíolo e superfície foliar da *Hancornia speciosa* var. *gardneri* (A. DC.) Muell. Arg.



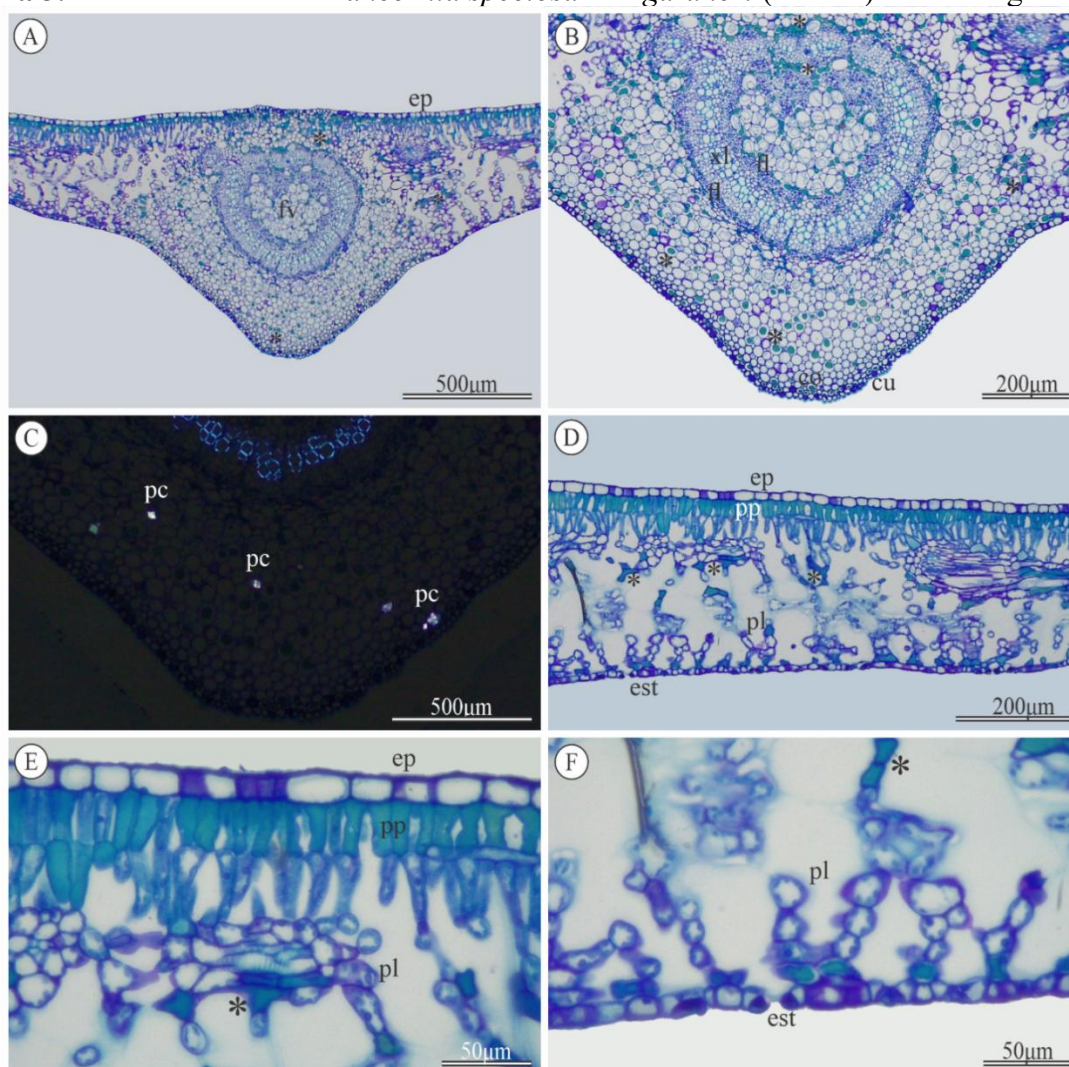
Legenda: A-F: microscopia de luz. A-D: corte transversal do pecíolo. C: microscopia de luz polarizada. E-F: corte paradérmico da superfície adaxial e abaxial respectivamente. fv: feixe vascular. cu: cutícula. pc: cristal prismático. fl: floema. xl: xilema. est: estômato. Asterisco: laticíferos.

Já a nervura central apresenta formato convexo na região abaxial e plano na região adaxial (Fig. 3A). O feixe vascular possui formato de arco fechado (Fig. 3B). Próximo a epiderme, cristais prismáticos ocorrem, mas em menor quantidade (Fig. 3C) e duas camadas de

colênquima anular podem ser observados nas duas extremidades (superior e inferior) abaixo da epiderme (Fig.3B).

O mesofilo é dorsiventral, as células da epiderme adaxial são achatadas globosas e maiores, e na epiderme abaxial são também achatadas, porém menores. O parênquima paliçádico ocorre por todo o limbo na região adaxial em duas camadas, sendo a segunda de forma irregular (Fig. 3D e 3F) e o parênquima lacunoso possui de 8 a 10 camadas com amplos espaços intercelulares (Fig. 3D-F). Assim como no pecíolo, diversos laticíferos são encontrados no mesofilo e próximos a epiderme da face abaxial (Fig. 3F).

Figura 3. Anatomia foliar da *Hancornia speciosa* var. *gardneri* (A. DC.) Muell. Arg.



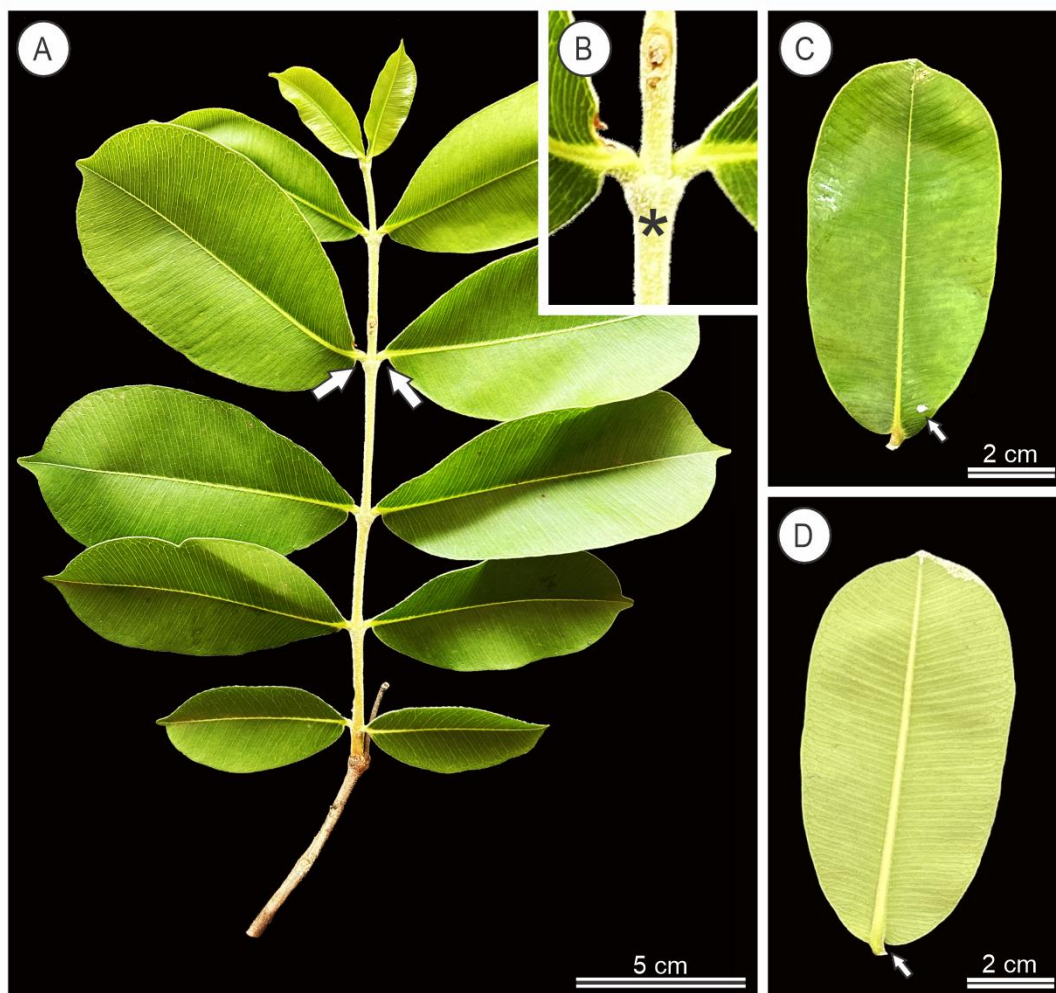
Legenda: A-F: microscopia de luz. A-C: corte transversal evidenciando a nervura central da folha. C: microscopia de luz polarizada. D-F: corte transversal mostrando o limbo foliar. E: epiderme adaxial. F: epiderme abaxial. fv: feixe vascular. ep: epiderme. cu: cutícula. pc: cristal prismático. fl: floema. xi: xilema. pl: parênquima lacunoso. pp: parênquima paliçádico. co: colênquima. Asterisco: laticíferos. est: estômato.

1.3.3. Morfoanatomia de *Hancornia speciosa* var. *pubescens* (Nees. e Martius) Muell.

Arg. – quanto a filotaxia, são opostas dísticas (Fig. 4A). Possuem superfície pilosa na folha,

pecíolo e caule (Fig. 4B), apresentam formato oblongo, com ápice cuspidado e sua base é assimétrica (Fig. 4C e 4D). A largura da folha é de $6,20 \pm 0,26$ cm e o comprimento de $11,33 \pm 1,04$ cm.

Figura 4. Morfologia da folha da *Hancornia speciosa* var. *pubescens* (Nees. e Martius) Muell. Arg.



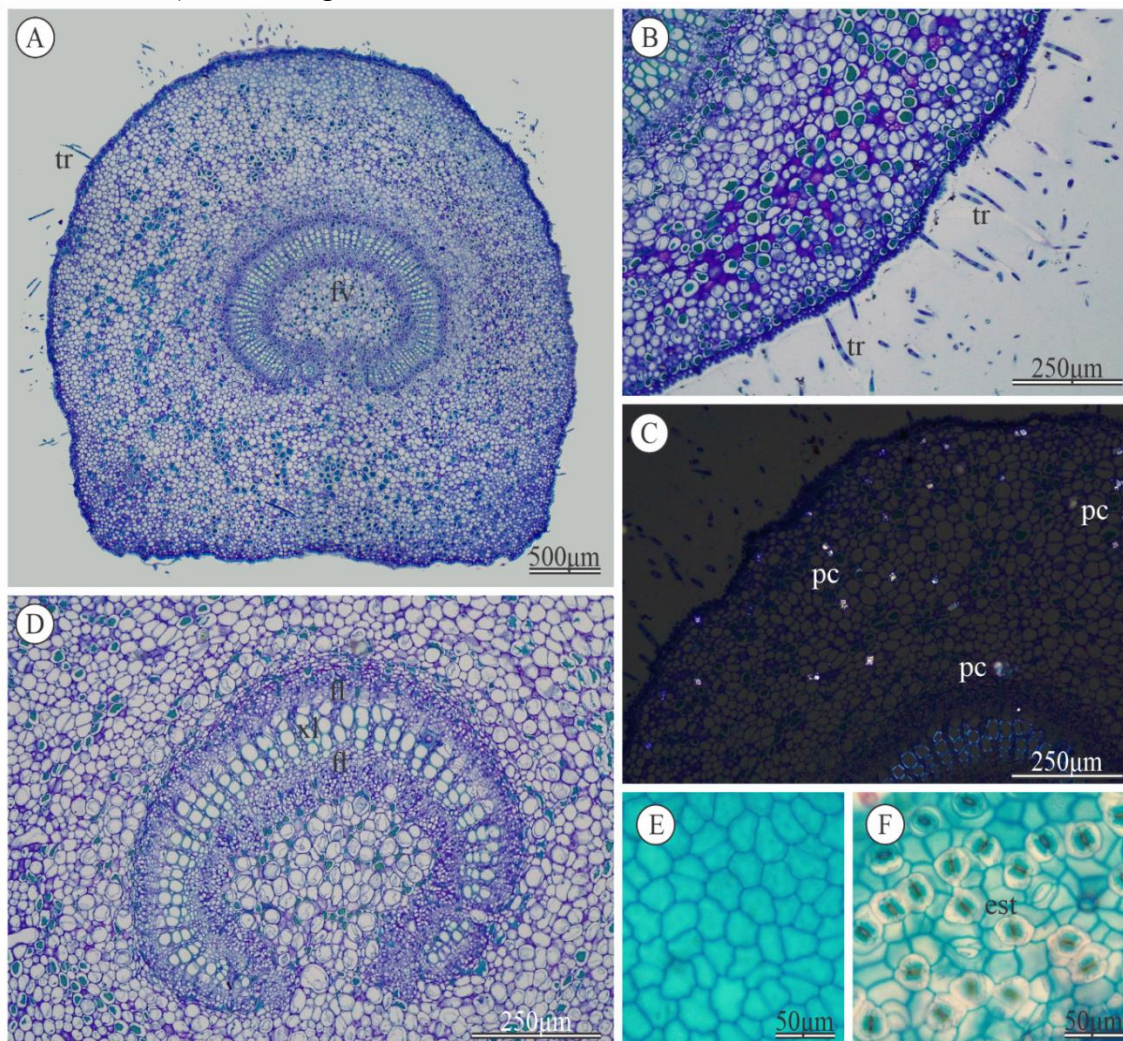
Legenda: A: filotaxia. B: tricomas na região do caule e pecíolo. C: folha adaxial, seta evidenciando o látex. D: folha abaxial, seta evidenciando a assimetria da base.

Em corte transversal, os pecíolos são convexos na superfície e planos na base, sem projeções laterais (Fig. 5A). Possui epiderme unisseriada e revestida por uma camada espessada de cutícula (Fig. 5B). Anexos à epiderme, tricomas multicelulares são encontrados por todo o pecíolo e laticíferos podem ser encontrados por todo o tecido no parênquima de preenchimento (Fig. 5B). Próximo à epiderme, diversos cristais prismáticos são observados (Fig. 5C). O feixe vascular é bicolateral e possui formato elíptico com abertura na região inferior (Fig. 5D).

Na folha, em corte paradérmico, a epiderme adaxial é irregular, as paredes anticlinais são predominantemente retas e curvas (Fig. 5E). Na face abaxial, a epiderme possui paredes

celulares também retas com algumas curvas, e estômatos anomocíticos ocorrem em maior quantidade, porém também pode-se observar estômatos anisocíticos (Fig. 5F).

Figura 5. Anatomia do pecíolo e superfície da folha da *Hancornia speciosa* var. *pubescens* (Nees. e Martius) Muell. Arg.



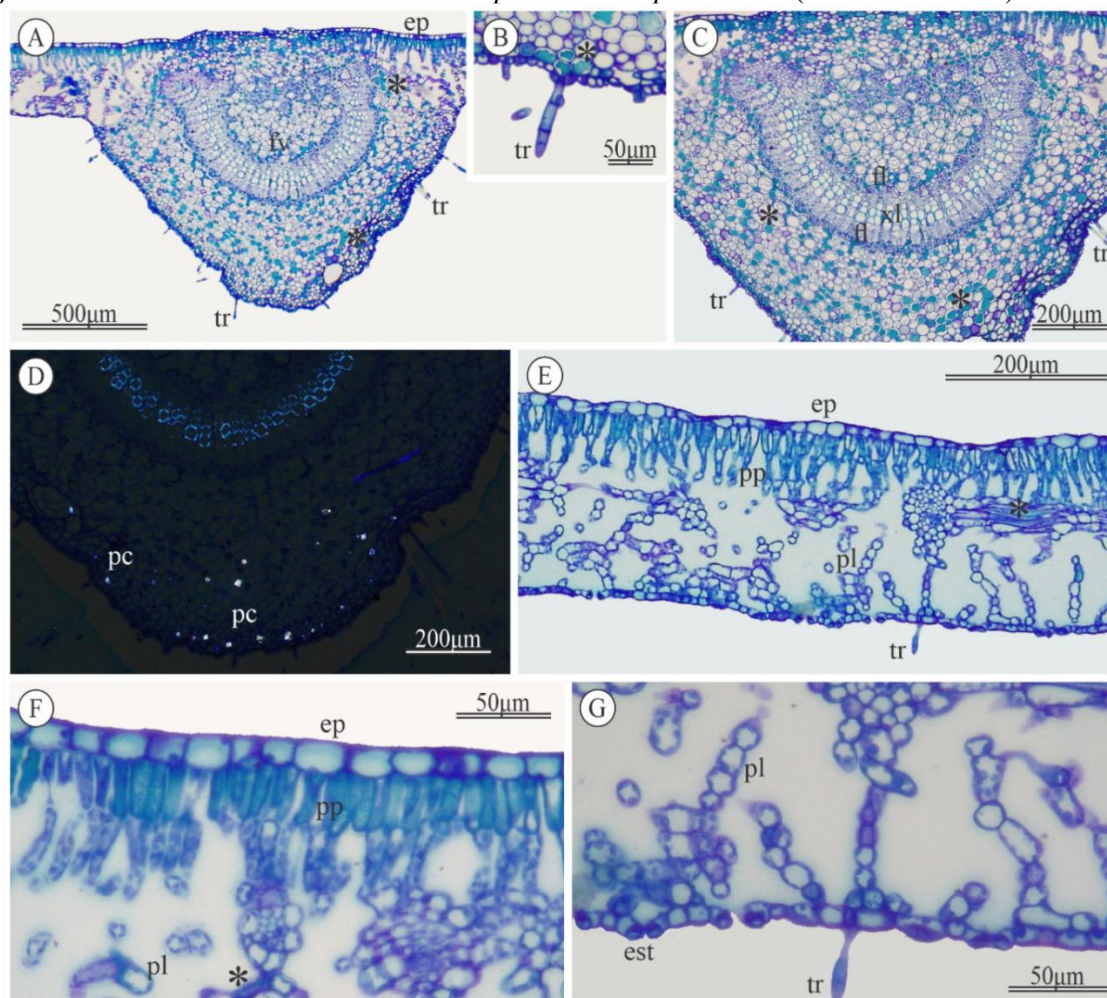
Legenda: A-F: microscopia de luz. A-D: corte transversal do pecíolo. C: microscopia de luz polarizada. E-F: corte paradérmico da folha abaxial e adaxial respectivamente. fv: feixe vascular. pc: cristal prismático. fl: floema. xl: xilema. est: estômato. tr: tricoma.

A nervura central possui formato convexo na região abaxial e plano na superfície adaxial (Fig. 6A). Na face abaxial ocorrem diversos tricomas multicelulares (Fig. 6A-C). O feixe vascular é bicolateral em formato de arco aberto na superfície abaxial e diversos laticíferos ocorrem espalhados por todo o parênquima de preenchimento e também próximos às epidermes superiores e inferiores (Fig. 6C). Cerca de 4 camadas de colênquima ocorrem logo abaixo das epidermes superiores e inferiores (Fig. 6B e 6C). Cristais prismáticos podem ser observados na região abaxial da nervura (Fig. 6D).

Em corte transversal o mesofilo é dorsiventral, a epiderme adaxial é achatada e algumas globosas e menores, já na epiderme abaxial são achatadas globosas e menores (Fig. 6E), abaixo

pode-se observar o parênquima lacunoso com 8 a 10 camadas e grandes espaços intercelulares, assim como diversos laticíferos (Fig. 6E). O parênquima paliádico ocorre por todo o limbo em duas camadas, sendo a segunda de forma irregular (Fig. 6E e 6F). Assim como na nervura central, na face abaxial ocorrem tricomas tectores (Fig. 6E e 6G).

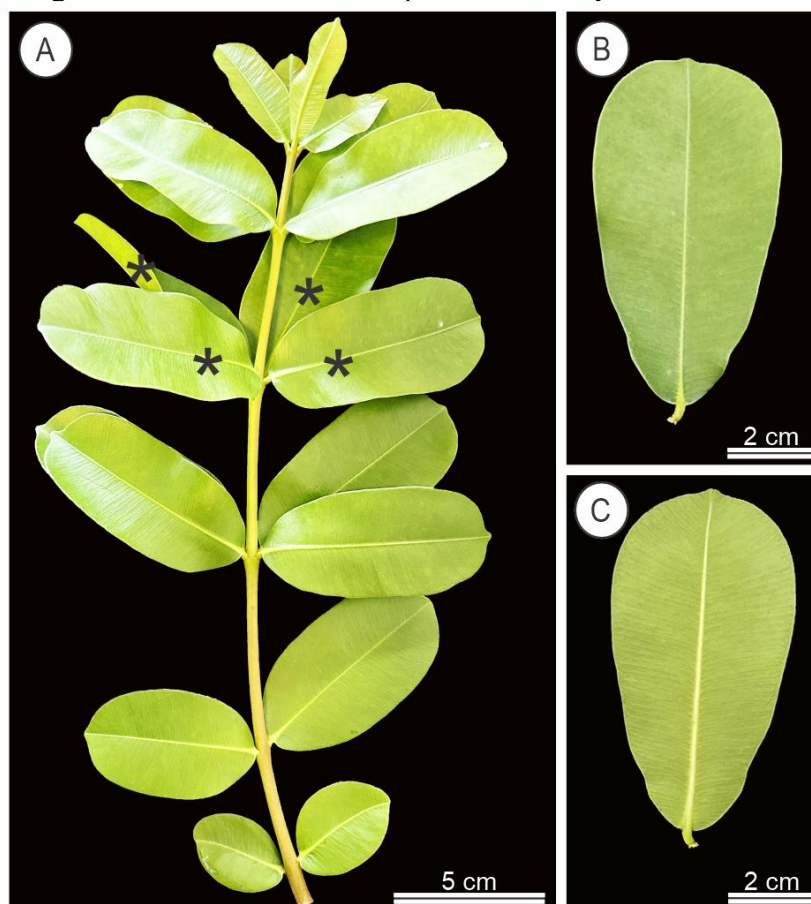
Figura 6. Anatomia foliar da *Hancornia speciosa* var. *pubescens* (Nees. e Martius) Muell. Arg.



Legenda: A-G: microscopia de luz. A-D: corte transversal evidenciando a nervura central da folha. D: microscopia de luz polarizada revelando os cristais prismáticos. E-G: corte transversal mostrando o limbo foliar. F: epiderme adaxial. G: epiderme abaxial. fv: feixe vascular. ep: epiderme. pc: cristal prismático. fl: floema. xi: xilema. pl: parênquima lacunoso. pp: parênquima paliádico. Asterisco: laticíferos. est: estômato. tr: tricoma.

1.3.4. Morfoanatomia de *Hancornia speciosa* var. *cuyabensis* Malme – quanto a filotaxia, é verticilada, em que quatro folhas surgem a partir do mesmo nó (Fig. 7A), característica típica que surge a partir do terceiro nó de cada ramo, diferindo das demais variedades analisadas. Quanto ao formato, as folhas são obovadas, com ápice cuspidado e base arredondada (Fig. 7B e 7C). A largura é de $4,88 \pm 0,34$ cm e seu comprimento é de $9,50 \pm 0,92$ cm.

Figura 7. Morfologia da folha da *Hancornia speciosa* var. *cuyabensis* Malme.

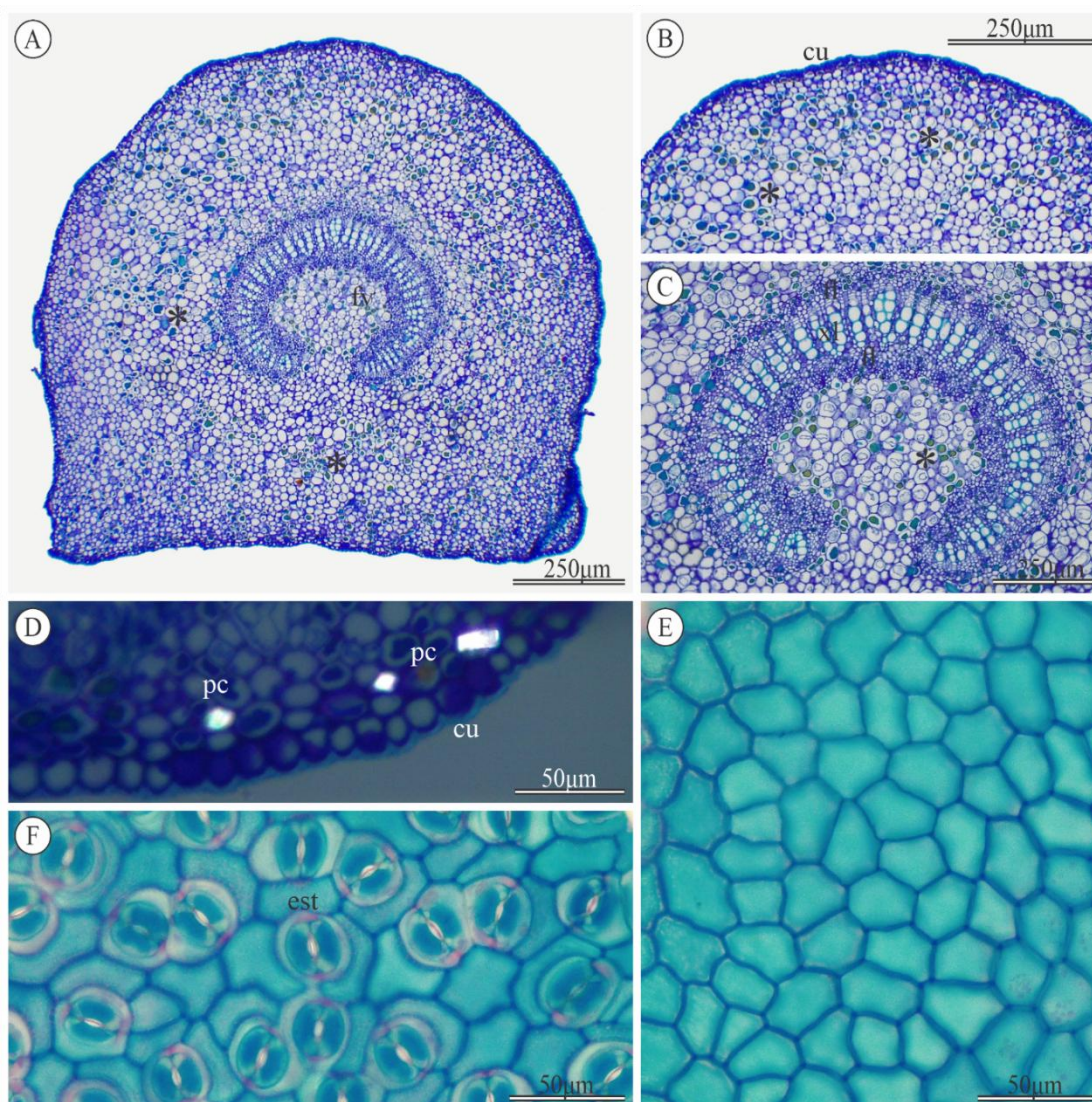


Legenda: A: filotaxia, asterisco mostrando a quantidade de folhas inseridas no mesmo nó. B: folha face adaxial. C: folha face abaxial.

Os pecíolos da *H. speciosa* var. *cuyabensis* possuem formato convexo, plano na face abaxial com duas projeções laterais (Fig. 8A). A epiderme é unisseriada e revestida por uma espessa camada de cutícula (Fig. 8B). O feixe vascular está disposto de forma bicolateral e possui formato elíptico com abertura na região inferior (Fig. 8C). Laticíferos ocorrem em todo o tecido do parênquima de preenchimento (Fig. 8C). Cristais prismáticos se localizam próximo da epiderme (Fig. 8D).

Em vista frontal, as células da epiderme da face adaxial possuem diferentes tamanhos, formatos poligonais, paredes anticlinais predominantemente retas (Fig. 8E). Já na face abaxial, as paredes anticlinais das células epidérmicas são predominantemente retas e algumas curvas, onde ocorrem estômatos do tipo anomocítico em maior quantidade e anisocítico com menor ocorrência (Fig. 8F).

Figura 8. Anatomia do pecíolo e superfície foliar da *Hancornia speciosa* var. *cuyabensis* Malme.



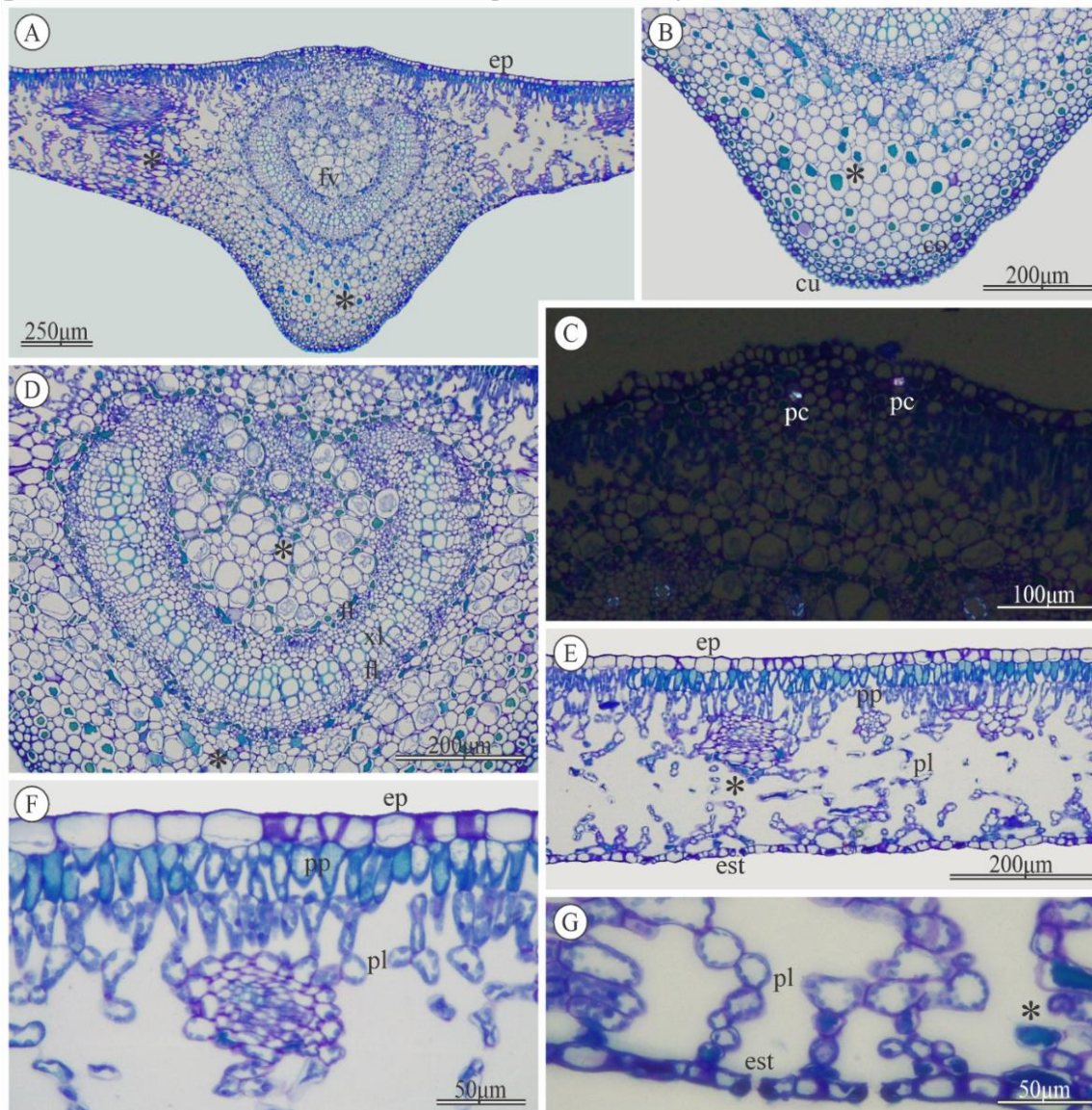
Legenda: A-F: microscopia de luz. A-D: corte transversal do pecíolo. D: microscopia de luz polarizada. E-F: corte paradérmico da folha adaxial e abaxial, respectivamente. fv: feixe vascular. cu: cutícula. pc: cristal prismático. fl: floema. xi: xilema. est: estômato. Asterisco: laticíferos.

A nervura central apresenta formato pouco convexo na região adaxial e bastante convexo na região abaxial, a epiderme é unisseriada (Fig. 9A) e é revestida por uma espessa camada de cutícula, especialmente na face abaxial (Fig. 9B). Células colenquimáticas ocorrem logo abaixo da epiderme adaxial e abaxial da nervura central (Fig. 9B). Cristais prismáticos podem ser encontrados próximo a epiderme da nervura central (Fig. 9C). O feixe vascular é biclateral e possui formato de arco aberto na superfície (Fig. 9D).

No corte transversal, o mesofilo é dorsiventral, as células da epiderme adaxial são achatadas globosas e maiores e as da epiderme abaxial são mais achatadas e menores (Fig. 9E). O parênquima paliçádico ocorre em duas camadas de forma irregular por toda a região do limbo

(Fig. 9F) e o parênquima lacunoso apresenta aproximadamente 8 a 10 camadas com espaços intercelulares expressivos (Fig. 9F e 9G). Os laticíferos ocorrem em todo o mesofilo e também próximos as células da epiderme abaxial (Fig. 9G).

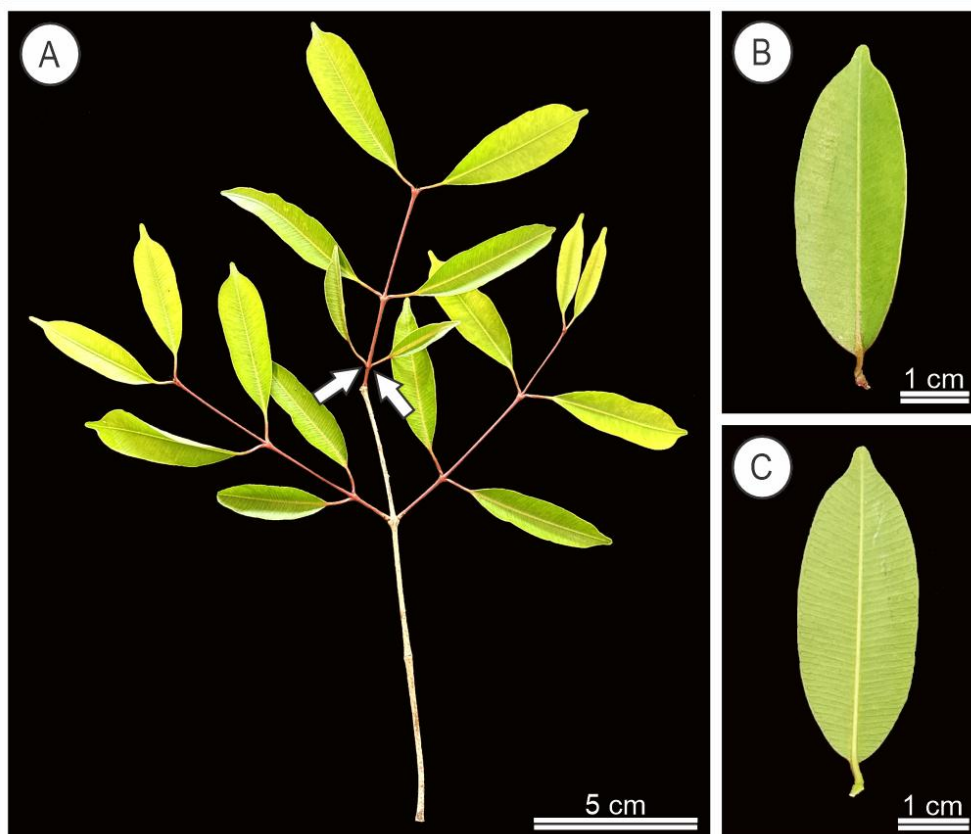
Figura 9. Anatomia foliar da *Hancornia speciosa* var. *cuyabensis* Malme.



Legenda: A-G: microscopia de luz. A-D: corte transversal evidenciando a nervura central da folha. C: microscopia de luz polarizada revelando os cristais prismáticos. E-G: corte transversal mostrando o limbo foliar. F: epiderme adaxial. G: epiderme abaxial. fv: feixe vascular. ep: epiderme. cu: cutícula. pc: cristal prismático. fl: floema. xi: xilema. pl: parênquima lacunoso. pp: parênquima paliádico. co: colênquima. Asterisco: laticíferos. est: estômato.

1.3.5. Morfoanatomia de *Hancornia speciosa* var. *speciosa* – quanto a filotaxia, também são opostas dísticas (Fig. 10A). Suas folhas apresentam formato estreito-elíptico, o ápice é acuminado e a base cuneada (Fig. 10B e 10C). Possuem largura média de $1,62 \pm 0,16$ cm e o comprimento de $5,20 \pm 0,7$ cm.

Figura 10. Morfologia da folha de *Hancornia speciosa* var. *speciosa*.

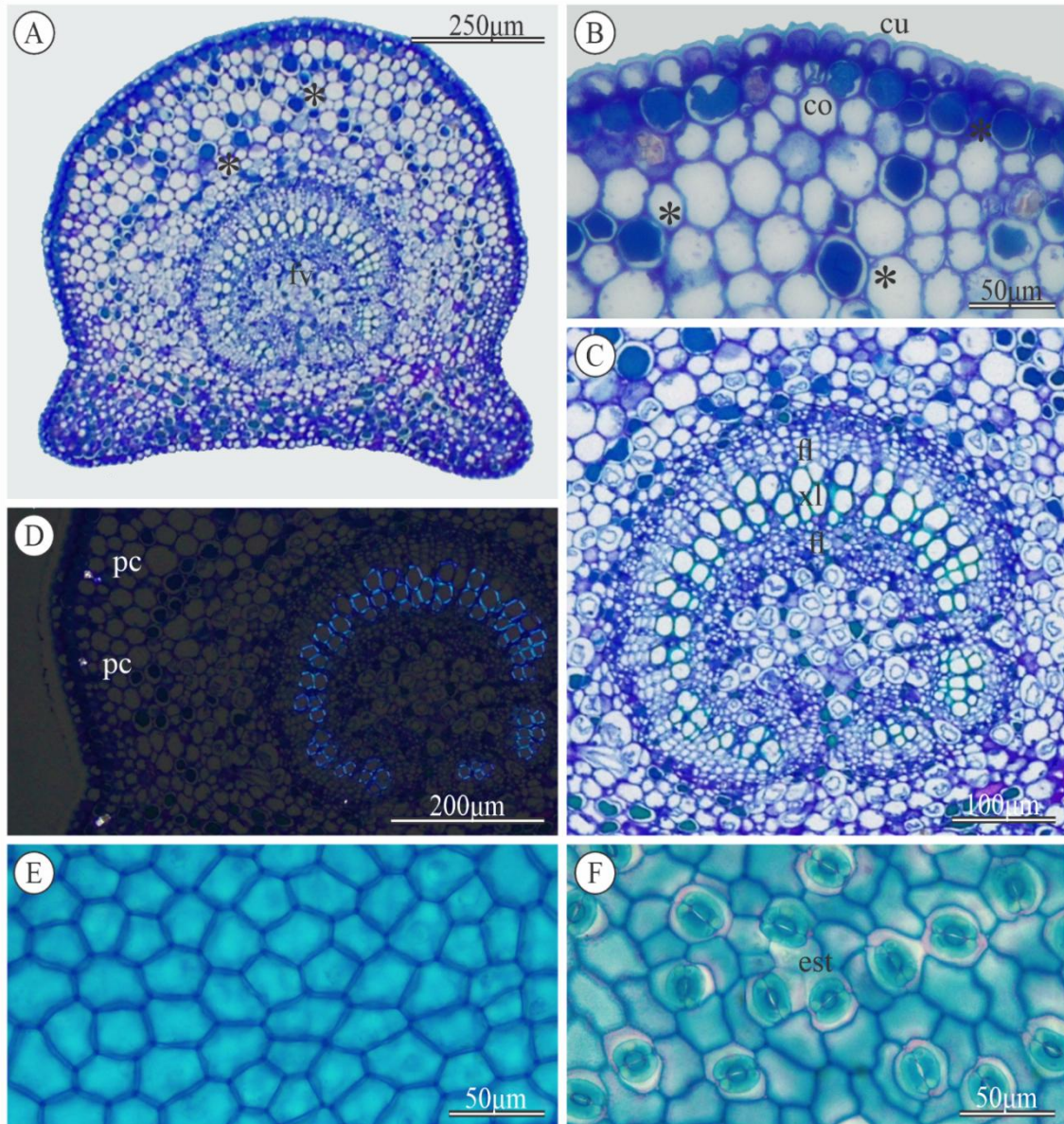


Legenda: A: filotaxia, seta evidenciando a inserção do pecíolo no caule. B: folha adaxial. C: folha abaxial.

O pecíolo possui formato côncavo-convexo e duas projeções nas extremidades da região abaxial (Fig. 11A). A epiderme é unisseriada e apresenta uma camada espessa de cutícula (Fig. 11B). Diversos laticíferos podem ser encontrados distribuídos por todo o parênquima (Fig. 11A-11C) e cristais prismáticos ocorrem próximos à epiderme (Fig. 11D). O feixe vascular é bicolateral e seu formato é de círculo com uma pequena abertura na região inferior (Fig. 11C).

Em vista frontal, na face adaxial pode-se observar células epidérmicas com formatos irregulares, com paredes celulares anticlinais retas (Fig. 11E). Na face abaxial, as células apresentam paredes anticlinais retas e curvas e predominam estômatos do tipo anisocíticos (Fig. 11F).

Figura 11. Anatomia do pecíolo e superfície foliar da *Hancornia speciosa* var. *speciosa*.



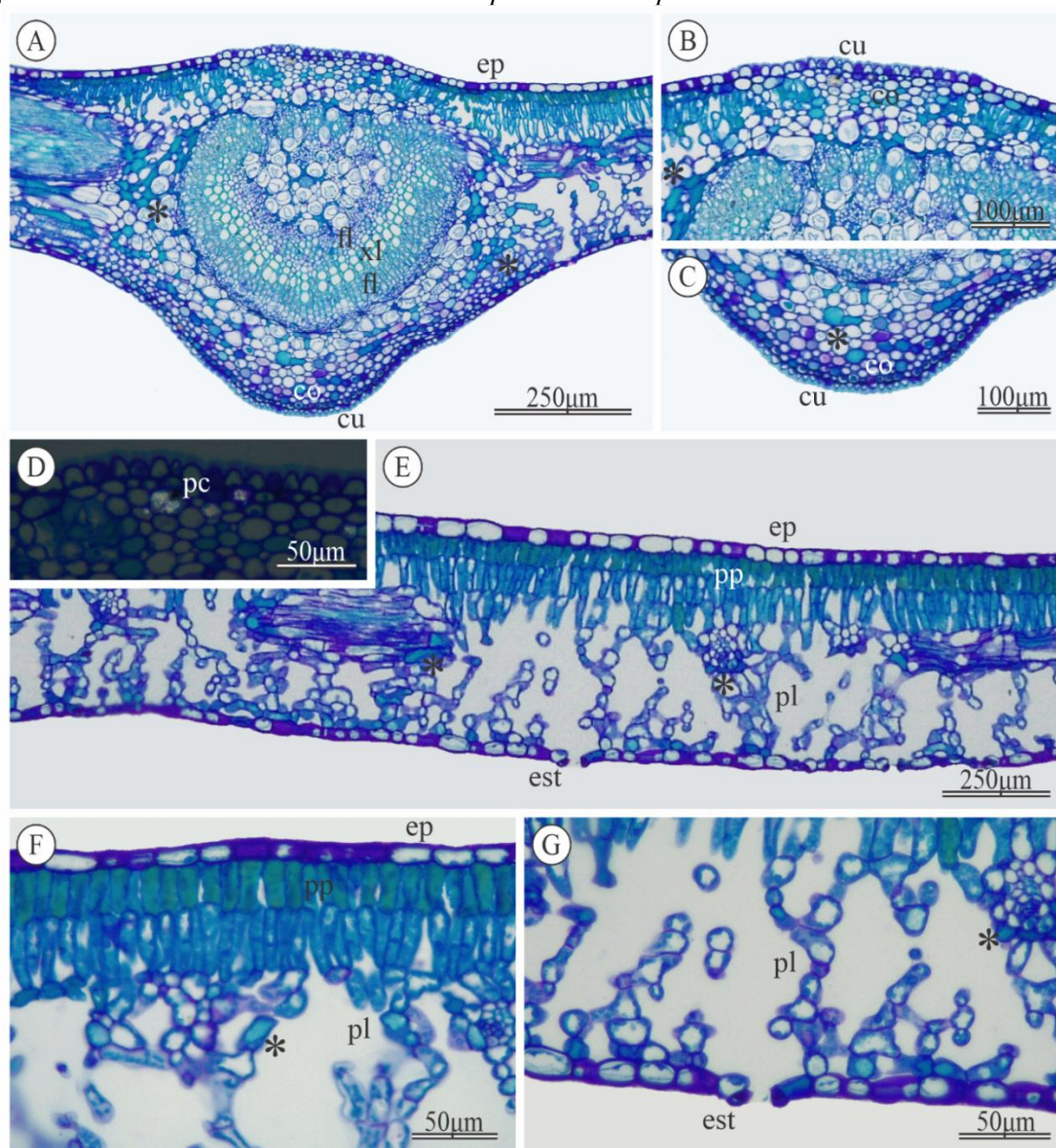
Legenda: A-F: microscopia de luz. A-D: corte transversal do pecíolo. D: microscopia de luz polarizada. E-F: corte paradérmico da folha adaxial e abaxial respectivamente. fv: feixe vascular. cu: cutícula. co: colênquima. pc: cristal prismático. fl: floema. xi: xilema. est: estômato. Asterisco: laticíferos.

Em corte transversal a nervura central apresenta formato convexo na face abaxial e adaxial e o feixe vascular possui formato de arco fechado, com uma pequena abertura na face abaxial (Fig. 12A). Próximo da epiderme superior (Fig. 12B) e inferior (Fig. 12C) ocorre um espessamento maior de cutícula e abaixo da epiderme inferior ocorrem 3 camadas de colênquima anular. Cristais prismáticos podem ser observados em menor ocorrência próximo à epiderme (Fig. 12D).

O mesofilo é dorsiventral, as células da epiderme superior são achatadas globosas e maiores e as células da epiderme abaxial são achatadas globosas e menores (Fig. 12 E). O

parênquima lacunoso possui 8 a 10 camadas com grandes espaços intercelulares (Fig. 12E-12G). Abaixo da epiderme adaxial, por todo o limbo, cerca de 3 camadas de parênquima paliádico ocorrem, sendo a primeira de forma contínua por todo o limbo e as outras de forma irregular (Fig. 12E e 12F).

Figura 12. Anatomia foliar da *Hancornia speciosa* var. *speciosa*.

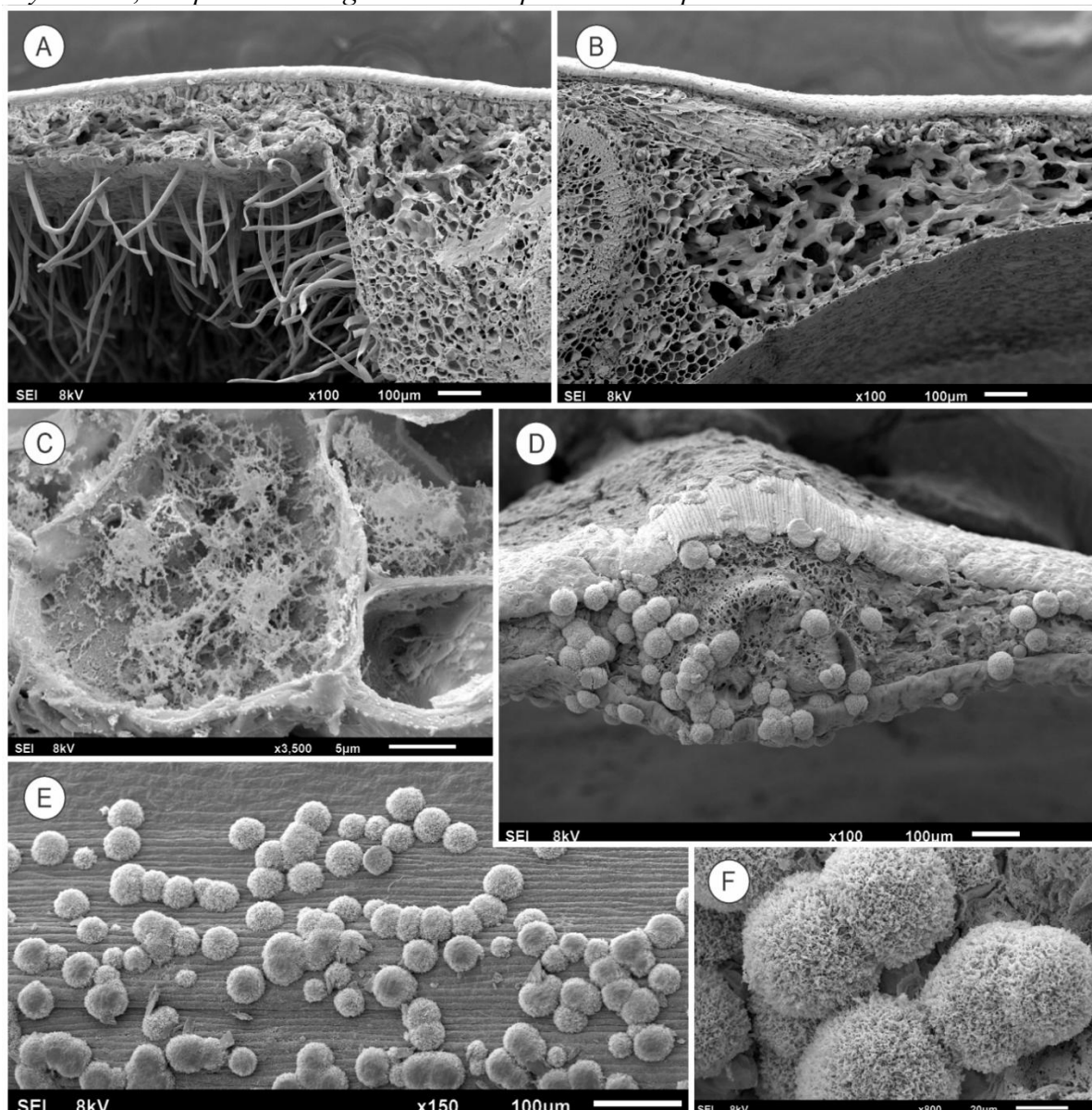


Legenda: A-G: microscopia de luz. A-D: corte transversal evidenciando a nervura central da folha. D: microscopia de luz polarizada revelando os cristais prismáticos. E-G: corte transversal mostrando o limbo foliar. F: epiderme adaxial. G: epiderme abaxial. ep: epiderme. cu: cutícula. pc: cristal prismático. fl: floema. xl: xilema. pl: parênquima lacunoso. pp: parênquima paliádico. co: colênquima. Asterisco: laticíferos. est: estômato.

1.3.6. Micrografia eletrônica de varredura – As micrografias revelam a estrutura interna e superfície do tecido vegetal foliar, destacando os tricomas, o parênquima lacunoso e a

presença de látex. Externo ao tecido, observam-se tricomas tectores que emergem como estruturas alongadas e densas na face abaxial (Figura 13A), característico de *H. speciosa* var. *pubescens*. No corte transversal pode-se observar lacunas como espaços vazios bem definidos entre as células do tecido (Figura 13B), formando uma espécie de esponja no mesofilo foliar. O látex foi observado armazenado nas células (Figura 13C) e também exsudado em corte transversal (Figura 13D) e na superfície foliar, próximo a nervura (Figura 13E). O látex exsudado apresenta formato granular ou rugoso, indicando uma possível presença de compostos sólidos ou emulsionados que podem incluir compostos como terpenoides e/ou outros compostos mais densos.

Figura 13. Micrografia eletrônica de varredura de *H. speciosa* var. *pubescens*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri* e *H. speciosa* var. *speciosa*.

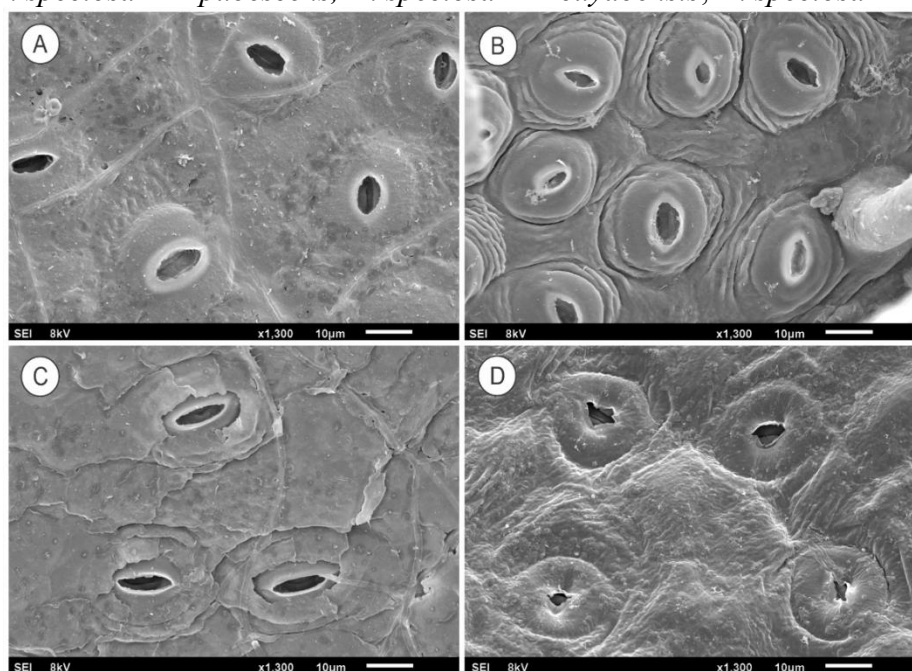


Legenda: A-F: microscopia eletrônica de varredura. A-D: corte transversal. E-F: vista superficial. A: presença de tricomas na face abaxial (*H. speciosa* var. *pubescens*). B: espaços intercelulares, parênquima lacunoso (*H. speciosa* var. *cuyabensis*). C: acúmulo de látex no interior da célula (*H. speciosa* var. *gardneri*). D e F: exsudação do látex em corte transversal. E: exsudação do látex na superfície foliar. D-F: *H. speciosa* var. *speciosa*. Escalas: A, B, D e E: 100 μ m. C: 5 μ m. F: 20 μ m.

Os estômatos analisados em microscopia eletrônica de varredura da face abaxial da folha, apresentaram características distintas em todas as variedades analisadas. Na Figura 14A, os estômatos de *H. speciosa* var. *gardneri*, estão no mesmo nível das células adjacentes e a cutícula não forma depressões. Na Figura 14B, os estômatos de *H. speciosa* var. *pubescens* foram observados em regiões onde as células epidérmicas formaram ondulações próximas, que podem servir como uma barreira adicional contra desidratação, formando um microclima ao

redor do ostíolo (Willmer & Fricker, 1996). Além disso, também é possível observar a densidade de estômatos na Figura 14B. A cutícula em *H. speciosa* var. *cuyabensis*, se apresentou formando escamas e cobrindo quase que totalmente os ostíolos (Figura 14C). Por fim, na Figura 14D, pode-se observar a inserção dos estômatos de *H. speciosa* var. *speciosa* em depressões na epiderme, característica adaptativa típica de plantas xeromórficas que habitam regiões do Cerrado. Essa disposição reduz a exposição direta do ostíolo ao vento e à radiação solar, diminuindo a perda de água por evaporação (Esau, 1977). Plantas adaptadas a ambientes de Cerrado, como *Hancornia speciosa*, apresentam adaptações estomáticas que refletem pressões seletivas relacionadas ao clima. A densidade estomática e a morfologia das células-guarda são influenciadas por fatores como radiação solar e disponibilidade hídrica (Fahn, 1990; Larcher, 2003).

Figura 14. Micrografia eletrônica de varredura da face abaxial das folhas de *H. speciosa* var. *gardneri*, *H. speciosa* var. *pubescens*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *speciosa*.



Legenda: A-D: microscopia eletrônica de varredura; estômatos na face abaxial da folha. A: *H. speciosa* var. *gardneri*. B: *H. speciosa* var. *pubescens*. C: *H. speciosa* var. *cuyabensis*. D: *H. speciosa* var. *speciosa*. Escala: A-D: 10 µm.

1.3.7. *Descrições morfoanatômicas segundo Monachino, 1945* - a classificação aceita para *H. speciosa* é a de Monachino (1945), em que o autor diferencia 6 variedades botânicas para a espécie de acordo com caracteres morfológicos da folha e da flor, dentre elas, *H. speciosa* Gomes ou *H. speciosa* var. *speciosa* (variedade típica), *H. speciosa* var. *maximiliani* A. DC., *H. speciosa* var. *cuyabensis* Malme, *H. speciosa* var. *lundii* A. DC., *H. speciosa* var. *gardneri* (A.

DC.) Muell. Arg., *H. speciosa* var. *pubescens* (Nees. et Martius) Muell. Arg. A variedade *H. speciosa* var. *speciosa* possui pecíolos de 9-15 mm de comprimento, limbo com 6 cm de comprimento e 2 cm de largura. A variedade *H. speciosa* var. *cuyabensis* possui pecíolos com 3 mm de comprimento, limbo com 4-10 cm de comprimento e 1,5-3 cm de largura. Já a variedade *H. speciosa* var. *gardineri* possui pecíolos curtos com 3-5 mm de comprimento, limbo com 7-10 cm de comprimento e 4 cm de largura. Por fim, a variedade *H. speciosa* var. *pubescens* possui pecíolos também curtos, como a variedade *H. speciosa* var. *gardineri*, mas pubescente, limbo também pubescente na região abaxial com 6-12cm de comprimento e 3-6 cm de largura. Os caracteres morfométricos de tamanho do pecíolo e do limbo descritos por Monachino (1945) foram os mesmos encontrados neste estudo para as quatro variedades.

1.3.8. *Quanto ao local de ocorrência* - no estado de Goiás é relatado por Rizzo & Ferreira (1990) a presença das variedades *H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *gardineri* e *H. speciosa* var. *pubescens*, sendo as duas últimas com maior ocorrência no estado (Chaves, 2006). A variedade típica ou *H. speciosa* var. *speciosa*, segundo Monachino (1945), ocorre do Rio de Janeiro até o Norte do país, além disso, *H. speciosa* var. *cuyabensis* é encontrada na Chapada dos Guimarães no estado de Mato Grosso. A ampla ocorrência nos diversos tipos de ambientes, confere à espécie uma diferenciação evidente em seu porte arbóreo, cobertura da copa, produtividade dos frutos (Vieira *et al.*, 2017; Almeida *et al.*, 2019) , além de diferenças morfoanatômicas descritas acima. Conhecer essas características nos permite desvendar estratégias evolutivas da planta que surgiram a fim de garantir a perpetuação dessas espécies em ambientes tão distintos.

1.3.9. *Morfoanatomia comparada das variedades estudadas* – Os resultados obtidos demonstram diferenças em todas as variedades estudadas, apresentadas na Tabela 3. Tais diferenças morfológicas podem auxiliar na identificação dessas espécies em campo, visto que esse tipo de análise fornece características visíveis e mensuráveis que são essenciais para a taxonomia vegetal. As chaves de identificação são ferramentas fundamentais para a taxonomia (Ogunkunle, 2021) e muitas vezes se baseiam em características morfológicas de folhas (forma, disposição, tipo de margem e etc.), flores (simetria, número de pétalas e sépalas, disposição dos estames e etc.), frutos (tipo, estrutura e mecanismo de dispersão) e caule (tipo, estrutura externa e interna).

As técnicas moleculares tem avançado e ganhado destaque e combinadas com dados de morfologia e anatomia, permitem uma compreensão mais profunda das relações filogenéticas e da evolução de características morfológicas e são fundamentais para esclarecer questões sobre

a evolução morfofisiológica das plantas (Endress, 2002). O gênero *Ficus* sofreu várias revisões taxonômicas que partiram de análises morfológicas, quanto a complexidade de suas flores e interação com polinizadores, que foram importantes para definir grupos de espécies (Corner, 1965; Weiblen, 2002; Berg & Corner, 2005; Rønsted *et al.*, 2005; Rønsted *et al.*, 2008).

Características morfológicas também foram usadas no agrupamento de espécies do gênero *Eucalyptus*, o que posteriormente foi revisado a partir de estudos morfológicos detalhados dos frutos, flores e sementes, levando a uma reclassificação de muitas espécies que foram transferidas para novos gêneros, como *Corymbia* e *Angophora* (Johnson & Hill, 1990; Hill & Johnson, 1995; Brooker, 2000). Ainda, estudos morfológicos em conjunto com análises moleculares, levaram a criação de duas novas famílias botânicas (Amaryllidaceae e Alliaceae) que antes pertenciam a família Liliaceae (Dahlgren *et al.*, 1985; Chase *et al.*, 1993; Chase & Reveal, 2009; APG III, 2009).

A filotaxia das variedades estudadas são em maioria opostas, com excessão da variedade *H. speciosa* var. *cuyabensis*, que apresenta arranjo do tipo verticilado. Todas as variedades apresentam folhas simples, inteiras, pecioladas, sem estípula e com textura coriácea. Tais características morfológicas são observadas em Apocynaceae e a diferencia de outras famílias, como a predominância de folhas simples, margens inteiras, com arranjo oposto, ou alternado (El-Fiki *et al.*, 2019), podendo haver variações, como a presença de folhas verticiladas em algumas exceções como em *Marsdenia carterae* (Stevens & Juárez-Jaimes, 1999), *Rauvolfia verticillata* (WFO, 2024), *Alstonia scholaris* (Khyade & Vaikos, 2009) e *Nerium oleander* (Pagen, 1987).

A filotaxia, arranjo das folhas em torno do caule de uma planta, está relacionada a otimização da captação solar, essencial para o processo de fotossíntese (Niklas, 1998). A filotaxia oposta é um dos padrões mais comuns de arranjo foliar, em que duas folhas emergem do mesmo nó e se apresentam opostas uma à outra (Mauseth, 2014). Segundo Brites & Valladares (2005), esse arranjo minimiza o sombreamento mútuo, pois as folhas de um par estão dispostas em diferentes direções, maximizando a exposição à luz solar de forma uniforme, o que pode ser uma adaptação importante para a sobrevivência em ambientes onde a luz é limitada (Givnish, 1988).

Tabela 3. Morfoanatomia comparada das quatro variedades de mangabeiras (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *pubescens* e *H. speciosa* var. *gardineri*).

Caracteres morfológicos, anatômicos e microanatômicos		<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>	<i>H. speciosa</i> var. <i>pubescens</i>	<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>
Filotaxia		Opostas dísticas	Verticilada	Opostas dísticas	Opostas dísticas
Formato da folha		Estreito-elíptico, ápice acuminado e a base cuneada	Obovado, ápice cuspidado e base arredondada	Oblanceolado, com ápice acuminado e base assimétrica	Oblanceolado, com ápice acuminado e base aguda
Tamanho da folha (cm)	Largura	1,62±0,16	4,88±0,34	6,20±0,26	3,68±0,70
	Comprimento	5,20±0,70	9,50±0,92	11,33±1,04	8,13±2,37
Tamanho dos pecíolos (mm)		9-15	3	3-5	3-5
Morfologia dos pecíolos		Côncavo-convexo, duas projeções na extremidade inferior	Convexo, plano na região abaxial, duas projeções laterais	Convexo, plano na região abaxial, sem projeções laterais	Côncavo-convexo, duas projeções laterais na região inferior
Anatomia dos pecíolos		Cutícula espessa, epiderme unisseriada, 3 camadas de colênquima, feixe vascular bicolateral	Cutícula espessa, epiderme unisseriada, 4 camadas de colênquima, feixe vascular bicolateral	Cutícula espessa, epiderme unisseriada, 4 camadas de colênquima, feixe vascular bicolateral	Cutícula espessa, epiderme unisseriada, 3 camadas de colênquima, feixe vascular bicolateral
Formato do feixe vascular do pecíolo		Forma de círculo, pequena abertura na região inferior	Formato elíptico, abertura na região inferior	Formato elíptico, abertura na região inferior	Formato de arco, abertura na região inferior
Epiderme adaxial		Células achatadas irregulares, paredes anticlinais retas	Células globosas irregulares, paredes anticlinais poligonais	Células achatadas globosas irregulares, paredes anticlinais retas e curvas	Células achatadas e globosas irregulares, paredes anticlinais retas e sinuosas
Epiderme abaxial		Células achatadas globosas irregulares, paredes anticlinais retas e curvas	Células achatadas globosas irregulares, paredes anticlinais retas e curvas	Células achatadas globosas irregulares, paredes anticlinais retas e algumas curvas	Células globosas irregulares, paredes anticlinais sinuosas

Estômatos	Estômatos anisocítico. Inserção dos estômatos em depressões na epiderme	Estômatos anomocítico em maior quantidade e anisocítico com menor ocorrência. Formação de escamas da cutícula que cobrem parcialmente os ostíolos	Estômatos anomocítico em maior quantidade e anisocítico com menor ocorrência. Superior à superfície da epiderme com ondulações da cutícula	Estômatos anomocítico em maior quantidade e anisocítico com menor ocorrência. Plano à superfície da epiderme
Morfologia da nervura central	Convexo em ambas as faces	Pouco convexo na face adaxial, muito convexo na face abaxial	Plano na face adaxial e convexo na face abaxial	Plano na face adaxial e convexo na face abaxial
Anatomia da nervura central	Feixe vascular bicolateral, formato de arco fechado, espessamento cuticular nas duas superfícies, cerca de 5 camadas de colênquima	Feixe vascular bicolateral, formato de arco aberto na superfície adaxial, espessamento cuticular na face abaxial, 3 camadas de colênquima	Feixe vascular bicolateral, formato de arco aberto na superfície adaxial, 4 camadas de colênquima	Feixe vascular bicolateral, formato de arco fechado, 2 camadas de colênquima
Morfoanatomia do limbo foliar	Epiderme unisseriada, aproximadamente 3 camadas de parênquima paliçádico, 8-10 camadas de parênquima lacunoso	Epiderme unisseriada, parênquima paliçádico bisseriado, 8-10 camadas de parênquima lacunoso	Epiderme unisseriada, parênquima paliçádico bisseriado, 8-10 camadas de parênquima lacunoso	Epiderme unisseriada, parênquima paliçádico bisseriado, 8-10 camadas de parênquima lacunoso
Anexos epidérmicos	Não possui	Não possui	Tricomas tectores em todos os órgãos avaliados	Não possui
Cristais prismáticos	Poucos, próximos às epidermes do pecíolo e nervura central da folha	Poucos, próximos às epidermes do pecíolo e nervura central da folha	Muitos, próximos às epidermes e também no mesofilo do pecíolo e da folha	Poucos, próximos às epidermes e também no mesofilo do pecíolo e da folha
Laticíferos	Em todos os órgãos avaliados	Em todos os órgãos avaliados	Em todos os órgãos avaliados	Em todos os órgãos avaliados

As quatro variedades apresentaram semelhanças quanto ao tipo de célula epidérmica cuticularizada, pavimentosas com paredes celulares anticlinais predominantemente retas, algumas irregulares e sinuosas. Além disso, a ocorrência de estômatos do tipo anomocítico e anisocítico também foram compartilhadas em ambas as variedades. Segundo Metcalfe & Chalk (1950), os estômatos de Apocynaceae são predominantemente do tipo anomocítico ou paracítico, e o padrão hipoestomático também é comum. Já os estômatos do tipo anisocítico ocorrem com menor frequência (Cronquist, 1981; Metcalfe, 1988). Os padrões de organização do mesofilo foliar são semelhantes aos descritos em outras espécies da família, como em *Plumeria rubra* var. *alba* (Araújo *et al.*, 1984), *Himatanthus sucuuba* (Larrosa & Duarte, 2005) e *Himatanthus lancifolius* (Baratto *et al.*, 2010).

A cutícula é composta por cutina e ceras com características hidrofóbicas. Desempenha um papel essencial na proteção das plantas contra a desidratação, ao atuar como uma barreira física que minimiza a perda de água através da transpiração, além disso, essa camada oferece proteção contra patógenos e radiação UV, ajudando as plantas a sobreviverem em ambientes adversos (Yeats & Rose, 2013). Em plantas da família Apocynaceae, a cutícula também está associada a estruturas secretoras especializadas, como os coléteres, que são glândulas produtoras de secreções viscosas e atuam na proteção das folhas e flores contra herbívoros e patógenos (Martins *et al.*, 2013), além de possuírem importância taxonômica para a identificação das espécies dentro da família (Woodson and Moore 1938; Simões *et al.* 2006; Canaveze & Machado, 2015).

As análises revelaram que as paredes anticlinais das células epidérmicas das quatro variedades estudadas apresentam padrões retos e curvos, no entanto, observou-se que uma das variedades, *H. speciosa* var. *gardineri*, destaca-se por exibir paredes anticlinais sinuosas na epiderme abaxial. Essas paredes se formam perpendicularmente à superfície da planta, e são observadas na epiderme de folhas e em outros tecidos de revestimento (Korn & Spalding, 1973). Essas paredes delimitam a forma e o tamanho das células epidérmicas e contribuem para a arquitetura da célula e a proteção da planta contra fatores externos (Majda *et al.*, 2017). Em Apocynaceae, Onefeli & Kehinde (2020) analisaram a epiderme de diferentes espécies como *Holarrhena floribunda* e *Thevetia nerifolia*, descrevendo-as como paredes anticlinais sinuosas, enquanto que em *Rauvolfia vomitoria*, são retas e onduladas. Tais características são de grande importância taxonômica e ajudam na identificação e classificação das espécies dentro da família (Nyawuame & Gill, 1991). Essas variações nas paredes anticlinais não apenas destacam a diversidade morfológica dentro da família, mas também refletem adaptações funcionais que podem estar relacionadas à proteção e suporte estrutural da planta.

Os estômatos desempenham um papel vital na fisiologia das plantas, facilitando a troca gasosa que é necessária para que ocorra a fotossíntese e a respiração celular (Khan *et al.*, 2014; Kaur & Nagpal, 2016; Bashir *et al.*, 2020). Além disso, os tipos morfológicos de estômatos possuem importância na taxonomia vegetal e auxiliam na identificação e classificação de muitas espécies (Baranova, 1992). Avaliações micromorfológicas dos estômatos podem ser usadas como marcadores taxonômicos, pois essas características permanecem estáveis mesmo sob diferentes condições ambientais (Khan *et al.*, 2014; Bano *et al.*, 2015).

Estômatos anisocíticos são caracterizados por possuírem células subsidiárias de tamanhos desiguais, já os anomocíticos as células subsidiárias são irregulares e indistintas (Apezzato-da-Glória & Carmello-Guerreiro, 2006). Em um estudo com 8 espécies de Apocynaceae, Bashir e colaboradores (2020) avaliaram células epidérmicas e propuseram uma chave dicotômica baseada no formato de células epidérmicas e os tipos de estômatos, onde, *Plumeria rubra*, *Rauwolfia serpentina*, *Thevetia peruviana*, *Trachelospermum lucidum*, *Alstonia scholaris* e *Catharanthus roseus* apresentaram estômatos do tipo anisocítico e hipoestomáticos; *Carrisa carandas* apresentaram uma combinação de estômatos do tipo anisocítico, anomocítico e ciclocítico na epiderme superior, enquanto que na epiderme inferior foram encontrados estômatos do tipo anomocíticos, estefanocíticos, braquiparacíticos e hemiparacíticos; por fim, em *Nerium oleander* os estômatos não apresentaram formas específicas, mas foi observado criptas estomáticas envolvidas por tricomas tanto na face adaxial quanto na abaxial.

Outros autores também usaram estômatos como caracteres taxonômicos para outras famílias como em Asteraceae (Bano *et al.*, 2015) e em Polygonaceae (Hameed *et al.*, 2008). A ocorrência de tipos de estômatos semelhantes em ambas as variedades pode ser uma variável importante na taxonomia complexa da espécie de *Hancornia speciosa*, corroborando com Monachino (1945), que determina variedades botânicas de uma mesma espécie. Isso implica que a presença consistente desses tipos estomáticos sugere uma proximidade dessas variedades pertencendo a um grupo taxonômico com características morfológicas conservadas, podendo indicar uma ancestralidade comum. Outras variedades de *H. speciosa* devem ser analisadas, assim como espécies de populações naturais para avaliar se tais características permanecem.

Em Apocynaceae, o mesofilo dorsiventral é uma característica comum e os feixes vasculares da nervura central são tipicamente bicolaterais (Metcalf & Chalk, 1950). O parênquima paliçádico, caracterizado por suas células alongadas verticalmente e organizadas em uma ou mais camadas paralelas à superfície da folha é essencial para o processo de fotossíntese devido à sua alta concentração de cloroplastos e à disposição que facilita a captura

de luz. Essa disposição permite uma maior absorção de luz devido ao maior número de cloroplastos presentes nessas células, o que é fundamental em ambientes de alta luminosidade (Taiz & Zeiger, 2017; Procko *et al.*, 2022). Além disso, em ambientes áridos, as folhas são expostas a uma irradiação solar direta mais elevada e incidência de luz difusa (Pompelli *et al.*, 2019). A estrutura em camadas duplas também pode contribuir para a proteção contra danos foto-oxidativos nas folhas provocados pelos raios ultravioletas (Procko *et al.*, 2022) além de aumentar a eficiência da absorção de luzes azuis e vermelhas (Terashima *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2017; Falcioni *et al.*, 2017).

Em estudos ecológicos, Hanson (1917) e Ryder (1954) descrevem graus de diferenciação do mesófilo para espécies arbóreas expostas ao sol, o que sugere o potencial de plasticidade dessas espécies. Em Apocynaceae é comum a ocorrência de mesófilo dorsiventral com 2 a 3 camadas de parênquima paliádico, como em *Tabernaemontana alternifolia* (Seenu *et al.*, 2019), *Tabernaemontana catharinensis* (Guidoti *et al.*, 2015), *Himatanthus lancifolius* (Baratto *et al.* 2010), *Rhabdadenia biflora* (Pirolla-Souza *et al.*, 2019).

O parênquima lacunoso, por sua vez, se localiza abaixo do parênquima paliádico, se apresenta como células com formato irregular e grandes espaços intercelulares, como observado em todas as variedades. Esses espaços facilitam a difusão de gases, como oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2) entre o mesófilo foliar e a atmosfera, que permite a realização de trocas gasosas necessárias para a fotossíntese e respiração celular (Haberlandt, 1896; Taiz & Zeiger, 2017; Evans & Carvalho-Evans, 2021). A presença desses espaços aumenta a superfície de contato entre o ar e as células do mesófilo, otimizando a absorção de CO_2 durante o processo de fotossíntese e a liberação de O_2 produzido como resultado do processo (Raven *et al.*, 2001). Além disso, essa estrutura ajuda na regulação da transpiração e manutenção da turgidez da célula, atuando na homeostase hídrica da planta (Silisbury & Ross, 1992). Essa estrutura especializada permite que a planta se adapte a diferentes condições ambientais como exemplo, plantas que vivem em ambiente de alta irradiância (plantas heliófitas), em que o parênquima lacunoso otimiza a captação de luz maximizando a superfície de contato com as células fotossintéticas (Demming-Adams & Adams, 1992).

Já em condições de déficit hídrico, comum em plantas xerófilas, essas células minimizam a perda de água criando uma barreira física que reduz a transpiração, o que mantém o equilíbrio hídrico da folha (Sack *et al.*, 2005; Sack & Frole, 2006; Blackman *et al.*, 2010). Por fim, em ambientes úmidos como florestas tropicais, o parênquima lacunoso facilita a troca gasosa contribuindo na ventilação interna da folha, essencial para a respiração celular e fotossíntese em condições de alta umidade (Brodribb *et al.*, 2010). Tais adaptações estruturais

e funcionais, em conjunto com outras estruturas foliares demonstram a capacidade da *Hancornia speciosa* e suas variedades ocorrerem com sucesso em diversos climas de diferentes biomas da América do Sul, como no Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Amazônia.

Laticíferos e cristais também são características comuns encontradas em diversas espécies de Apocynaceae (Metcalf & Chalk, 1950; Omino, 1996). Os cristais de oxalato de cálcio ocorrem em diversas plantas e em quase todos os órgãos e tecidos, incluindo folhas, caules, raízes e sementes. Esses cristais podem se apresentar em diversas formas, como ráfides, drusas, prismáticos, cristais de areia ou estiloides e são formados no interior de células especializadas, chamadas idioblastos (Franceschi & Horner, 1980).

Os cristais prismáticos são facetados e muitas vezes retangulares, podendo ocorrer isolados ou em pequenos grupos aglomerados, sendo uma das formas mais comuns que podem ocorrer em vários tecidos vegetais (Mathew & Shah, 1984). Eles estão associados ao armazenamento de cálcio e ao processo de detoxificação na planta, ajudando a regular os níveis de íons de cálcio (Mazen *et al.*, 2004) que podem ser prejudiciais em concentrações altas (Franceschi & Nakata, 2005).

Além disso, os cristais também desempenham um papel importante na defesa contra herbivoria (Franceschi & Horner, 1980; Nakata, 2003; Mazen *et al.*, 2004) e nos tecidos podem ser tornar menos palatáveis ou até causar desconforto mecânico e danos nos herbívoros quando consumidos, função esta indispensável em espécies que enfrentam alta pressão de predação (Molano-Flores, 2001). Em *Prunus avium*, a produção de cristais de oxalato de cálcio aumenta em folhas que sofreram herbivoria, evidenciando uma resposta defensiva induzida (Peschiutta *et al.*, 2020). Em plantas do deserto, como em *Pancratium sickenbergeri*, a produção de cristais é maior em populações que sofrem predação por *Gazzela dorcas*, e não está relacionada a detoxificação do cálcio (Ruiz *et al.*, 2002). Para *Hancornia speciosa*, não há estudos que relacionem a existência de cristais com as funções mencionadas acima.

Além das funções ecológicas e fisiológicas nas plantas, os cristais possuem grande importância taxonômica e oferecem características anatômicas que ajudam na diferenciação entre espécies, gêneros e famílias. Na família Apiaceae a presença e ausência de cristais em diferentes partes dos frutos foram determinantes para distinguir diferentes espécies dentro da família (Rompel, 1895; Ostroumova & Zakharova, 2023). Em plantas da família Verbenaceae, a composição química e o formato dos cristais de diferentes espécies auxiliaram na classificação de plantas dentro das famílias (Mathew & Shah, 1984). Lin & Hu (1998) estudando 12 espécies pertencentes a 5 gêneros de Taxaceae, observaram a ausência de cristais em *Austrotaxus* e

sugeriram a realocação para uma nova tribo, enquanto outras diferenças observadas em cristais de outras espécies, justificaram a divisão da família em quatro tribos.

Outras famílias também possuem estudos taxonômicos com cristais, como em Iridaceae (Goldblatt *et al.*, 1984), Cactaceae (Bárcenas-Argüello *et al.*, 2015), Orchidaceae (Sandoval-Zapotitla *et al.*, 2010) e Asparagaceae (Pennisi & McConnell, 2001). A presença, forma e distribuição dos cristais são características taxonômicas valiosas em diversas famílias de plantas, como exposto acima, ajudando na compreensão das relações filogenéticas entre as espécies. Na análise filogenética, a distribuição de cristais prismáticos pode fornecer evidências sobre as relações evolutivas entre diferentes espécies. Isso se deve ao fato de que tais estruturas muitas vezes evoluem em resposta a pressões ambientais comuns ou devido a herança de um ancestral comum, servindo assim como caracteres informativos para inferir relações filogenéticas (Franceschi & Horner, 1980; Prychid & Rudall, 1999; Webb, 1999; Lawrie *et al.*, 2023)

A ocorrência de cristais prismáticos nas quatro variedades analisadas sugere uma possível proximidade filogenética ou uma adaptação convergente a condições ambientais similares. Porém, o número de cristais prismáticos nos diferentes órgãos do vegetal, não pode ser usado para diferenciar as variedades, pois existem variações já relatadas na literatura sobre produção de cristais aumentada em espécies que sofrem maior pressão à predação (Ruiz *et al.*, 2002; Peschiutta *et al.*, 2020)

Por fim, o látex possui grande importância dentro da família Apocynaceae (Metcalf & Chalk, 1950; Omino, 1996). O látex é produzido e armazenado por estruturas especializadas chamadas de laticíferos e pode ser encontrada em várias famílias de plantas, e sua composição química pode variar entre espécies e dentro da mesma espécie em diferentes partes da planta. O poliisopreno é a principal substância encontrada no látex e é responsável pela elasticidade, que faz do látex um recurso valioso para a indústria da borracha (Metcalf & Chalk, 1950; Webster & Baulkwill, 1989). Alcaloides como morfina se encontram no látex de *Papaver somniferum* (papoula) e possuem aplicações farmacêuticas (Fairbairn *et al.*, 1968; Weid *et al.*, 2004).

Em Apocynaceae o látex pode conter terpenoides e contribuem na defesa química sendo tóxico para predadores e patógenos (Mahlberg, 1993; Langenheim, 2003). Látex pode conter ainda, enzimas como proteases, como as encontradas no látex de *Ficus carica* (figueira), que ajudam a digerir proteínas de insetos que tentam se alimentar da planta (Esau, 1965). Além disso, o látex contém quitinases e glugonases que são enzimas que degradam as paredes celulares de fungos e até insetos que possuem quitina em sua composição (Kitajima *et al.*,

2013). Compostos fenólicos também podem fazer parte da composição química do látex e são amplamente discutidos na literatura, destacando sua importância na proteção do vegetal contra estressores ambientais e ameaças bióticas (Levin, 1971; Gholamshahi *et al.*, 2014; Abarca *et al.*, 2019), além de ressaltar seu potencial farmacológico (Sibi *et al.*, 2013; Bhagyashri *et al.*, 2015; Abdel-Aty *et al.*, 2019; Abarca *et al.*, 2019; Warowicka *et al.*, 2020).

Em *Hancornia speciosa* as propriedades farmacológicas e medicinais do látex são bastante estudadas principalmente a sua atividade angiogênica (Almeida *et al.*, 2014; D'abadia *et al.*, 2020; D'abadia *et al.*, 2022;), citotoxicidade e genotoxicidade no modelo de raiz de *Allium cepa* (Ribeiro *et al.*, 2016), atividade anti-inflamatória (Marinho *et al.*, 2011), potencial osteogênico (Neves *et al.*, 2016), cicatrizante (Pegorin *et al.*, 2021; D'abadia *et al.*, 2022), atividade hipoglicêmica do extrato no modelo de *zebrafish* (Tomazi *et al.*, 2021), efeito desbridante na cicatrização de feridas em modelo de ratos (Martins *et al.*, 2023), além de estudos das propriedades tecnológicas na produção de borracha (Malmonge *et al.*, 2009), ontogenia (Gonçalves *et al.*, 2018) e desenvolvimento de laticíferos (Souza *et al.*, 2021). Apesar da quantidade de estudos com aplicações farmacológicas do látex da *H. speciosa*, a composição química do látex da *H. speciosa* ainda é pouco explorada na literatura.

1.3.10. Estudos genéticos e filogenéticos de populações de H. speciosa - Os estudos genéticos e filogenéticos revelam diferentes interpretações quanto à classificação das variedades botânicas. Terto *et al.* (2024) utilizaram marcadores de DNA de cloroplasto (trnH-psbA) e microssatélites nucleares para avaliar a estrutura genética da espécie. A análise de cloroplasto revelou 11 haplótipos organizados em dois clados principais: o primeiro clado incluiu *H. speciosa* var. *speciosa*, enquanto o segundo clado agrupou as demais variedades descritas por Monachino, como *H. speciosa* var. *pubescens* e *H. speciosa* var. *cuyabensis*. A análise com microssatélites também apontou para a existência de dois grandes grupos genéticos que coincidem com as variedades *H. speciosa* var. *speciosa* e *H. speciosa* var. *pubescens*. Esses resultados corroboram a classificação proposta pela Flora do Brasil (2020), que reconhece apenas essas duas variedades, sinonimizando as demais em um conjunto genético mais amplo. No entanto, essa sinonimização apresenta um desafio: enquanto as evidências morfológicas sustentam a distinção entre as variedades previamente descritas, os dados genéticos não revelam divergências significativas que justifiquem sua separação.

Chaves *et al.* (2020) também utilizaram marcadores microssatélites para investigar a variação genética entre subpopulações de *H. speciosa*. Os autores observaram baixa divergência genética entre as variedades descritas por Monachino, mas uma significativa diferenciação genética dentro das subpopulações, indicando que fatores como deriva genética e seleção local

desempenham papéis importantes na organização da diversidade genética. Os resultados de Chaves *et al.* (2020) não sustentam diretamente a classificação de Monachino (1945) e estão mais alinhados com a divisão simplificada da Flora do Brasil (2020).

Collevatti *et al.* (2018) realizaram uma análise em populações amplas da espécie usando sete marcadores microssatélites e identificaram cinco grupos genéticos. Apesar disso, os autores relataram alta conectividade genética entre as populações, especialmente no Cerrado, o que resultou em uma baixa diferenciação genética, mas significativa entre as variedades de Monachino. Este estudo sugere que a classificação em seis variedades botânicas carece de suporte genético robusto, reforçando a visão da Flora do Brasil (2020), mas ressaltando a complexidade das relações genéticas dentro da espécie.

Por outro lado, Flores *et al.* (2018) forneceram suporte à classificação de Monachino ao analisar diferenças químicas entre as variedades. O estudo identificou compostos fenólicos como potenciais marcadores químicos que poderiam ser utilizados para diferenciar as variedades descritas por Monachino. Esses resultados indicam que características fenotípicas podem ser úteis na identificação das variedades botânicas.

Em suma, a maior parte dos estudos genéticos recentes apoia a classificação da Flora do Brasil (2020), que reconhece duas variedades principais (*H. speciosa* var. *speciosa* e *H. speciosa* var. *pubescens*). Entretanto, os dados morfoanatômicos fornecem suporte para a distinção das variedades propostas por Monachino (1945). Essa divergência reflete as limitações tanto das análises genéticas quanto das morfológicas, indicando a necessidade de uma abordagem integrada para fornecer uma visão mais abrangente da diversidade intraespecífica de *Hancornia speciosa*.

Com base nas análises deste estudo, foi possível gerar uma chave dicotômica para as quatro variedades, com características de fácil identificação, a fim de facilitar a identificação dessas variedades em campo:

1.3.11. Chave Dicotômica para as Variedades de *Hancornia speciosa*.

1. Filotaxia verticilada ***H. speciosa* var. *cuyabensis***
 - 1'. Filotaxia oposta dística 2
2. Presença de tricomas ***H. speciosa* var. *pubescens***
 - 2'. Ausência de tricomas 3
3. Folhas com formato estreito-elíptico, ápice acuminado e a base cuneada..... ***H. speciosa* var. *speciosa***

3' Folhas com formato oblanceolado, ápice acuminado e base aguda..... *H. speciosa*
var. *gardinieri*

A análise morfoanatômica das quatro variedades revelou tanto semelhanças quanto diferenças significativas nas estruturas anatômicas, o que reflete a diversidade intraespecífica e potencialmente a adaptação a diferentes ambientes. A variedade típica (*H. speciosa* var. *speciosa*) apresentou diferenças morfológicas mais visíveis, como o tamanho das folhas, muito menor que as demais, facilmente observável em campo. Além disso, na anatomia, a variedade típica foi a única a apresentar 3 camadas de parênquima paliádico. Os resultados reforçam a importância dos estudos morfoanatômicos como ferramentas de identificação de espécies e compreensão da taxonomia vegetal. Esses dados em conjunto com estudos de diversidade genética podem contribuir para um melhor entendimento da diversidade e relações evolutivas em plantas. Estudos de morfoanatomia com as outras variedades podem complementar este trabalho, assim como estudos morfoanatômicos com populações naturais dessas variedades, a fim de avaliar se os aspectos observados são plasticidades fenotípicas da espécie, ou caracteres intrínsecos ao ambiente.

1.4. REFERÊNCIAS

- ABARCA, L. F. S.; KLINKHAMER, P. G.; CHOI, Y. H. Plant latex, from ecological interests to bioactive chemical resources. **Planta Medica**, v. 85, n. 11/12, p. 856-868, 2019. <https://doi.org/10.1055/a-0923-8215>
- ABDALLA, D. F. *et al.* Comparative anatomy and histochemistry of fruits of four varieties of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae). **Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 8, n. 2, p. 31-41, 2021. <https://doi.org/10.20873/uftv8-10593>
- ABDEL-ATY, A. M. *et al.* *Ficus carica*, *Ficus sycomorus* and *Euphorbia tirucalli* Latex Extracts: Phytochemical Screening, Antioxidant and Cytotoxic Properties. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, 101199, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101199>
- ALMEIDA, G. Q. D. *et al.* Agronomic evaluation of a *Hancornia speciosa* Gomes germplasm collection from the Brazilian Cerrado. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 8-14, 2019. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n1a02>
- ALMEIDA, L. M. *et al.* Toxicity of silver nanoparticles released by *Hancornia speciosa* (Mangabeira) biomembrane. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 210, p. 329-334, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.11.050>

ALMEIDA, L. M. *et al.* *Hancornia speciosa* latex for biomedical applications: physical and chemical properties, biocompatibility assessment and angiogenic activity. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 25, p. 2153-2162, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10856-014-5255-8>

ALMEIDA, M. M. B. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2155-2159, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (2nd Ed.). **Anatomia Vegetal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 438p.

APOCYNACEAE. In **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB48>. Acesso em: 30 de nov. de 2023.

ARAUJO, R. R.; SILVA E SILVA, A. M.; GIL, F. S. *Plumeria rubra* L. var. *alba* — Apocynaceae. Anatomia foliar. **Rodriguésia**, v. 36, n. 59, p. 67–72, 1984.

BANO, A. *et al.* Comparative foliar micromorphological studies of some species of Asteraceae from Alpine Zone of Deosai Plateau, Western Himalayas. **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 25, n. 2, p. 422-430, 2015.

BARANOVA, M. Principles of comparative stomatographic studies of flowering plants. **The Botanical Review**, v. 58, n. 1, p. 49-99, 1992. <https://doi.org/10.1007/BF02858543>

BARATTO, L. C. *et al.* *Himatanthus lancifolius* (Müll. Arg.) Woodson, Apocynaceae: morpho-anatomical study of a medicinal plant described in the Brazilian Pharmacopoeia 1st edition. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, p. 651-658, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010005000015>

BÁRCENAS-ARGÜELLO, M. L.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, M. C. D. C.; TERRAZAS, T. The polymorphic weddellite crystals in three species of *Cephalocereus* (Cactaceae). **Micron**, v. 77, p. 1-8, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2015.05.014>

BARREIROS, M. L. *et al.* Evaluation of the antioxidant activity of eight tropical fruits by DPPH method. In: **III International Symposium on Medicinal and Nutraceutical Plants and III Conference of National Institute of Science**, p. 185-192, 2012.

BASHIR, K. *et al.* Foliar micromorphology and its role in identification of the Apocynaceae taxa. **Microscopy Research and Technique**, v. 83, n. 7, p. 755–766, 2020. <https://doi.org/10.1002/jemt.23466>

BERG, C. C.; CORNER, E. J. H. Moraceae: ficaceae. **Flora Malaysiana-Series 1, Spermatophyta**, v. 17, n. 2, p. 1-702, 2005.

BHADANE, B. S. *et al.* Ethnopharmacology, phytochemistry, and biotechnological advances of family Apocynaceae: a review. **Phytotherapy Research**, v. 32, n. 7, p. 118-210, 2018. <https://doi.org/10.1002/ptr.6066>

BHAGYASHRI, A. C.; JOGENDRA, C. H.; AVINASH, V. P. Plant latex: an inherent spring of pharmaceuticals. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 4, p. 1781-1796, 2015.

BLACKMAN, C. J.; BRODRIBB, T. J.; JORDAN, G. J. Leaf hydraulic vulnerability is related to conduit dimensions and drought resistance across a diverse range of woody angiosperms. **New Phytologist**, v. 188, n. 4, p. 1113-1123, 2010.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03439.x>

BOZZOLA, J.J. & RUSSEL, L.L.D. **Electron microscopy**. Boston, Jones and Bartlett Publishers, 1992.

BRITES, D.; VALLADARES, F. Implications of opposite phyllotaxis for light interception efficiency of Mediterranean woody plants. **Trees**, v. 19, p. 671–679, 2005.
<https://doi.org/10.1007/s00468-005-0431-6>

BRODRIBB, T. J.; FEILD, T. S.; SACK, L. Viewing leaf structure and evolution from a hydraulic perspective. **Functional Plant Biology**, v. 37, n. 6, p. 488-498, 2010.
<https://doi.org/10.1071/FP10010>

BROOKER, M. I. H. A new classification of the genus *Eucalyptus* L'Her. (Myrtaceae). **Australian Systematic Botany**, v. 13, n. 1, p. 79–148, 2000.
<https://doi.org/10.1071/SB98008>

BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. **Mikrokosmos**, v. 61, n. 8, p. 255, 1972.

CAMPOS, E. P. C. F. *et al.* Microscopic analysis applied to the quality control of *Hancornia speciosa* Gomes. **Microscopy and Microanalysis**, v. 27, n. 5, p. 1226-1233, 2021.
<https://doi.org/10.1017/S1431927621012058>

CANAVEZE, Y.; MACHADO, S. Leaf colleters in *Tabernaemontana catharinensis* (Apocynaceae, Rauvolfioideae): structure, ontogenesis, and cellular secretion. **Botany**, v. 93, p. 287-296, 2015. <https://doi.org/10.1139/CJB-2014-0229>

CHASE, M. W.; REVEAL, J. L. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p. 122-127, 2009.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01002.x>

CHASE, M. W. *et al.* Phylogenetics of seed plants: an analysis of nucleotide sequences from the plastid gene *rbcL*. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 80, n. 3, p. 528–580, 1993. <https://doi.org/10.2307/2399846>

CHAVES, L. J. Recursos Genéticos no Cerrado. In: SILVA-JÚNIOR, J. F.; LÉDO (ed.). **A cultura da Mangaba**. 1. ed. Brasília: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. v. 1, cap. 5, p. 75-84.

CHAVES, L. J. *et al.* Quantitative and molecular genetic variation among botanical varieties and subpopulations of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae). **Tree Genetics & Genomes**, v. 16, p. 50, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11295-020-01444-0>

COLLEVATTI, R. G. *et al.* Unravelling the genetic differentiation among varieties of the Neotropical savanna tree *Hancornia speciosa* Gomes. **Annals of Botany**, v. 122, n.6, p. 973-984, 2018. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy060>

CORNER, E. J. H. Check-list of *Ficus* in Asia and Australasia with keys to identification. **The Gardens' Bulletin Singapore**, v. 21, n. 1, p. 1–186, 1965.

COSTA, T. S. *et al.* Genetic diversity of accessions of de mangaba germplasm bank in Sergipe, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 499-507, 2011.
<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011000500007>

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1981.

D'ABADIA, P. L. *et al.* *Hancornia speciosa* serum fraction latex stimulates the angiogenesis and extracellular matrix remodeling processes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, e20190107, 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190107>

D'ABADIA, P. L. *et al.* The role of enzymes in the angiogenic activity of *Hancornia speciosa* latex. **Bioscience Journal**, v. 38, e38086, 2022. <https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-61092>

D'ABADIA, P. L. *et al.* Tissue healing changes on wounds in rats after treatment with *Hancornia speciosa* latex in cream-gel formulation. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 37, e371001, 2022. <https://doi.org/10.1590/acb371001>

DAHLGREN, M. T.; CLIFFORD, H. T.; YEO, P. F. **The families of the Monocotyledons. Structure, evolution and taxonomy**. Berlin: Springer-Verlag, 1985.

DEMMING-ADAMS, B.; ADAMS, W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, n. 1, p. 599-626, 1992.

DEVECCHI, M. F. *et al.* Comparative leaf anatomy and morphology of some Brazilian species of *Crotalaria* L. (Leguminosae: Papilionoideae: Crotalarieae). **Acta Botanica Brasileira**, v. 28, p. 583-593, 2014. <https://doi.org/10.1590/0102-33062014abb3517>

EL-FIKI, M. A. *et al.* Morphological and anatomical studies on some taxa of family Apocynaceae. **Al-Azhar Journal of Agricultural Research**, v. 44, n. 1, p. 136-147, 2019.
<https://doi.org/10.21608/ajar.2019.59750>

ENDRESS, M. E. *et al.* Apocynaceae. In: Kadereit, J.; Bittrich, V. (eds.). **Flowering Plants. Eudicots. The Families and Genera of Vascular Plants**, v. 15. Springer, Cham, 2018.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-93605-5_3

ENDRESS, P. K. Morphology and angiosperm systematics in the molecular era. **Botanical Review**, v. 68, p. 545–570, 2002. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0545:MAASIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0545:MAASIT]2.0.CO;2)

ENDRINGER, D. C. *et al.* Evaluation of Brazilian plants on cancer chemoprevention targets *in vitro*. **Phytotherapy Research**, v. 24, n. 6, p. 928-933, 2010.
<https://doi.org/10.1002/ptr.3050>

ESAU, K. **Plant Anatomy**, 2nd ed.; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 1965.

ESAU, K. **Anatomy of Seed Plants**. New York: John Wiley, 1977.

EVANS, L.; CARVALHO-EVANS, M. Quantification of aerenchyma lacune in *Symplocarpus foetidus* to provide air to roots. **Rhizosphere**, v. 17, 100313, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100313>

FAHN, A. **Plant Anatomy**. 4th ed. Pergamon Press, 1990.

FAIRBAIRN, J. W.; DJOTÉ, M.; PATERSON, A. The alkaloids of *Papaver somniferum* L.-VII: Biosynthetic activity of the isolated latex. **Phytotherapy**, v. 7, n. 12, p. 2111-2116, 1968. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)85665-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)85665-4)

FALCIONI, R. *et al.* Distinct growth light and gibberellin regimes alter leaf anatomy and reveal their influence on leaf optical properties. **Environmental and Experimental Botany**, v. 140, n. 1, p. 86–95, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.06.001>

FARIAS, D. C. *et al.* Flora of Ceará, Brazil: Ditassa (Asclepiadoideae/Apocynaceae). **Rodriguésia**, v. 72, p. e01772019, 2021. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202172070>

FLORES, I. S. *et al.* HR-MAS NMR allied to chemometric on *Hancornia speciosa* varieties differentiation. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, p. 708-714, 2018. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170191>

FRANCESCHI, V. R.; NAKATA, P. A. Calcium oxalate in plants: formation and function. **Annual Review of Plant Biology**, v. 56, n. 1, p. 41-71, 2005. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144106>

FRANCESCHI, V. R.; HORNER, H. Calcium oxalate crystals in plants. **The Botanical Review**, v. 46, p. 361-427, 1980. <https://doi.org/10.1007/BF02860532>

GHOLAMSHAHI, S. *et al.* Comparison of total phenols and antiradical activity of flower, leaf, fruit and latex extracts of milkweed (*Calotropis procera*) from Jiroft and Bam cities. **International Journal of Bioscience**, v. 4, n. 7, p. 159-164, 2014. <http://doi.org/10.12692/ijb/4.7.159-164>

GIVNISH, T. J. Adaptation to Sun and Shade: A Whole-Plant Perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 15, n. 2, p. 63–92, 1988. <https://doi.org/10.1071/PP9880063>

GOLDBLATT, P.; HENRICH, J. E.; RUDALL, P. Occurrence of crystals in Iridaceae and allied families and their phylogenetic significance. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, p. 1013-1020, 1984. <https://doi.org/10.2307/2399238>

GONÇALVES, M. P.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; RIBEIRO, L. M. Ontogeny of anastomosed laticifers in the stem apex of *Hancornia speciosa* (Apocynaceae): A topographic approach. **Protoplasma**, v. 255, n. 6, p. 1713-1724, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1262-9>

GUIDOTI, D. G. G. *et al.* Morphoanatomic characterization of the stem and the leaf of *Tabernaemontana catharinensis* (Apocynaceae) and antimutagenic activity of its leaves. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, p. 667-679, 2015. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_077

GUIMARÃES, A. C. G. *et al.* Application of Chemometric Techniques In The Evaluation of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fruit From Brazilian Cerrado. **Journal of**

Food Measurement and Characterization, v. 17, n. 3, p. 2095-2106, 2023.
<https://doi.org/10.1007/s11694-022-01736-0>

HABERLANDT, G. **Physiologische Pflanzenanatomie**. 2nd edn. Engelmann, Leipzig, 1896.

HAMEED, I.; HUSSAIN, F.; DASTAGIR, G. Stomatal studies of some selected medicinal plants of Polygonaceae. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 6, p. 2273-2280, 2008.

HANCORNIA IN FLORA E FUNGA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15557>. Acesso em: 5 de jan. de 2025.

HANSON, H. C. Leaf structure as related to the environment. **American Journal of Botany**, v. 4, p. 533-559, 1917.

HEIMBACH, C. S.; FARINACCIO, M. A. Synopsis of Apocynaceae from Estrada Parque do Pantanal in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Heringeriana**, v. 15, n. 1, p. 178-191, 2021.

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. Systematic studies in the eucalypts 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, v. 6, n. 2-3, p. 185-504, 1995.

JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique**. Mc Graw-Hill Book Co. Inc., New York, 1940.

JOHNSON, L. A. S.; HILL, K. D. New taxa and combinations in *Eucalyptus* and *Angophora*. **Telopea**, v. 4, p. 37-108, 1990.

KAUR, H.; NAGPAL, A. K. Paradermal Studies on the Stomata of some Species of Asteraceae. **Nelumbo**, v. 58, p. 79-99, 2016.
<https://doi.org/10.20324/NELUMBO/V58/2016/105925>

KHAN, F. *et al.* Stomatal Patterning: An Important Taxonomic Tool for Systematical Studies of Tree Species of Angiosperm. **Annual Research & Review in Biology**, v. 4, n. 24, p. 4034-4053, 2014. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/10073>

KHYADE, M. S.; VAIKOS, N. P. Pharmacognostical studies on the leaves of *Alstonia scholaris* R. Br. **Journal of Pharmacy Research**, v. 2, n. 5, p. 858-861, 2009.

KITAJIMA, S. *et al.* Laticifers in mulberry exclusively accumulate defense proteins related to biotic stresses. **Plant Biotechnology**, v. 30, n. 4, p. 399-402, 2013.
<https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.13.0326a>

KORN, R. W.; SPALDING, R. M. The geometry of plant epidermal cells. **New Phytologist**, v. 72, n. 6, p. 1357-1365, 1973. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1973.tb02114.x>

LANGENHEIM, J. H. **Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany**. Timber Press, Portland, OR, USA, 2003.

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups**. Springer Science & Business Media, 2003.

LARROSA, C. R. R.; DUARTE, M. R. Morfoanatomia de folhas de *Himatanthus sucuuba* (Spruce) Woodson, Apocynaceae. **Acta Farmacêutica Bonaerense**, v. 24, n. 2, p. 165, 2005.

- LEVIN, D. A. Plant Phenolics: an Ecological Perspective. **The American Naturalist**, v. 105, n. 942, p. 157-181, 1971. <https://doi.org/10.1086/282712>
- LIN, J.; HU, Y. Taxonomic significance of extracellular crystals on the phloem fibres of Taxaceae. **Flora**, v. 193, n. 2, p. 173-178, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30835-6](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30835-6)
- MAHLBERG, P. G. Laticifers: an historical perspective. **The Botanical Review**, v. 59, p. 1-23, 1993. <https://doi.org/10.1007/BF02856611>
- MAJDA, M. *et al.* Mechanochemical polarization of contiguous cell walls shapes plant pavement cells. **Developmental Cell**, v. 43, n. 3, p. 290-304, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2017.10.017>
- MALMONGE, J. A. *et al.* Comparative study on the technological properties of latex and natural rubber from *Hancornia speciosa* Gomes and *Hevea brasiliensis*. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 111, n. 6, p. 2986-2991, 2009. <https://doi.org/10.1002/app.29316>
- MARINHO, D. G. *et al.* The latex obtained from *Hancornia speciosa* Gomes possesses anti-inflammatory activity. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 135, n. 2, p. 530-537, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.059>
- MARTINS, F. *et al.* Secretory structures in vegetative and floral organs of *Secondatia densiflora* A.DC. (Apocynaceae – Apocynoideae – Odontadenieae). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 15, p. 13-24, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000100002>
- MARTINS, G. R. *et al.* Phytoconstituents, antioxidant and antiglycation activity of *Chrysophyllum cainito* L., *Hancornia speciosa* Gomes and *Plinia glomerata* Berg. fruits. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, p. e20201853, 2023. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320201853>
- MARTINS, K. L. E. *et al.* Macroporous latex biomembrane from *Hancornia speciosa* modulates the inflammatory process and has a debridement effect on wound healing in rats. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 38, e385323, 2023. <https://doi.org/10.1590/acb385323>
- MATHEW, L.; SHAH, G. L. Crystals and their taxonomic significance in some Verbenaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 88, n. 4, p. 279–289, 1984. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1984.tb01576.x>
- MAUSETH, J. D. **Botany: An Introduction to Plant Biology**. 6th ed. Jones & Bartlett Publishers, 2014.
- MAZEN, A. H.; ZHANG, A. D.; FRANCESCHI, V. R. Calcium oxalate formation in *Lemna minor*: physiological and ultrastructural aspects of high capacity calcium sequestration. **New Phytologist**, v. 161, n. 2, p. 435–450, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.00923.x>
- METCALFE, C. R. The leaf: general topography and ontogeny of the tissues. In: METCALFE, C. R.; CHALK, L. (orgs.). **Anatomy of the Dicotyledons: Systematic Anatomy of Leaf and Stem with a Brief History of the Subject**. Oxford: Clarendon, 1988.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the Dicotyledons**. Vols. 1 & 2. Oxford: Clarendon Press, 1950.

MOLANO-FLORES, B. Herbivory and calcium concentrations affect calcium oxalate crystal formation in leaves of *Sida* (Malvaceae). **Annals of Botany**, v. 88, n. 3, p. 387-391, 2001. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1492>

MONACHINO, J. A Revision of *Hancornia* (Apocynaceae). **Lilloa**, Tucumán, v. 11, p. 19-48, 1945.

MORGADO, C. M. A. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activity of mangaba. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 473-486, 2020. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n2a2020-47692>

NAKATA, P. A. Advances in our understanding of calcium oxalate formation and function in plants. **Plant Science**, v. 164, p. 901-909, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00120-1)

NARAIN, N.; FRANÇA, F. R.; NETA, M. T. **Mangaba—*Hancornia speciosa***. **Exotic Fruits**. Academic Press, p. 305-318, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00040-X>

NEVES, J. S. *et al.* Evaluation of the osteogenic potential of *Hancornia speciosa* latex in rat calvaria and its phytochemical profile. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 183, p. 151-158, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.02.041>

NIKLAS, K. J. The role of phyllotactic pattern as a “developmental constraint” on the interception of light by leaf surfaces. **Evolution**, v. 42, n. 1, p. 1-16, 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1988.tb04103.x>

NYAWUAME, H. G. K.; GILL, L. S. Cuticular studies of some West African species of the Apocynaceae of medicinal value. **Feddes Repertorium**, v. 102, n. 1-2, p. 87-104, 1991. <https://doi.org/10.1002/fedr.19911020110>

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; & MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. **Protoplasma**, v. 59, p. 368-373, 1964.

OGUNKUNLE, A. Solving the mystery of the construction and elucidating the structural and functionality attributes of dichotomous key, a widely used tool for plant identification. **African Journal of Plant Science**, v. 15, n. 2, p. 49-58, 2021. <https://doi.org/10.5897/AJPS2020.2021>

OMINO E. A contribution to the leaf anatomy and taxonomy of Apocynaceae in Africa: the leaf anatomy of Apocynaceae in East Africa; a monograph of Pleiocarpinae (series of revisions of Apocynaceae 41) **Wageningen Agricultural University Papers**, v. 96, n.1, p. 1-178, 1996.

ONEFELI, A. O.; KEHINDE, L. P. Taxonomic Value of Leaf Epidermal Markers in Discriminating Some Medicinal Tree Species of Apocynaceae Juss. **Environmental Sciences Proceedings**, v. 3, n. 1, p. 91, 2020. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-07982>

OSTROUMOVA, T.; ZAKHAROVA, E. The study of crystals in the fruits of some Apiaceae species using energy-dispersive spectroscopy. **International Journal of Plant Biology**, v. 14, n. 2, p. 347-360, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijpb14020029>

PAGEN, F. J. J. *Oleanders; Nerium L. and the Oleander cultivars. Series of Revisions of Apocynaceae XX*. n. 87-2. Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 1987.

PEGORIN, G. S. *et al.* Physico-chemical characterization and tissue healing changes by *Hancornia speciosa* Gomes latex biomembrane. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 109, n. 7, p. 938-948, 2021. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.34758>

PENIDO, A. B. *et al.* Medicinal plants from northeastern Brazil against Alzheimer's disease. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2017, n. 1, p. 7, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1753673>

PENNISI, S. V.; MCCONNELL, D. B. Taxonomic relevance of calcium oxalate cuticular deposits in *Dracaena* Vand. ex L. **HortScience**, v. 36, n. 6, p. 1033-1036, 2001.

PESCHIUTTA, M. L. *et al.* Leaf herbivory and calcium oxalate crystal production in *Prunus avium*. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 14, p. 727-732, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11829-020-09781-6>

PIROLLA-SOUZA, A. O. *et al.* Leaf anatomical characters of *Rhabdadenia* (Rhabdadenieae, Apocynaceae), their taxonomic implications, and notes on the presence of articulated laticifers in the genus. **Plant Systematics and Evolution**, v. 305, p. 797–810, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00606-019-01608-z>

POMPELLI, M. F. *et al.* Mesophyll thickness and sclerophylly among *Calotropis procera* morphotypes reveal water-saved adaptation to environments. **Journal of Arid Land**, v. 11, p. 795–810, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0016-7>

PROCKO, C. *et al.* Leaf cell-specific and single-cell transcriptional profiling reveals a role for the palisade layer in UV light protection. **The Plant Cell**, v. 34, n. 9, p. 3261-3279, 2022. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac167>

PURVIS, M. J. *et al.* **Laboratory Techniques in Botany**. London: Butterwoths, 371 p, 1964.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 906 p, 2001.

RIBEIRO, G. S. *et al.* Hepatoprotective Effects of Four Brazilian Savanna Species on Acetaminophen-Induced Hepatotoxicity in HepG2 Cells. **Plants**, v. 12, n. 19, p. 3393, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12193393>

RIBEIRO, T. P. *et al.* Evaluation of cytotoxicity and genotoxicity of *Hancornia speciosa* latex in *Allium cepa* root model. **Brazilian Journal of Biology**, v. 76, p. 245-249, 2016. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.20114>

RIZZO, J. A.; FERREIRA, H. D. *Hancornia* G. no estado de Goiás. In: Congresso Nacional de Botânica, 36, 1985, Curitiba, PR. **Anais...** Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 1990. v. 1, p. 363-368.

RODRIGUES, A. J. L. **Desenvolvimento de marcadores microsatélites e estrutura genética de *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae)**. Tese (Doutorado em Agronomia: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

ROMPEL, Joseph. **Krystalle von Calciumoxalat in der Fruchtwand der Umbelliferen und ihre Verwerthung für die Systematik**. Aus der Kaiserlich-Königlichen Hof- und Staatsdruckerei, 1895.

RØNSTED, N. *et al.* 60 million years of co-divergence in the fig–wasp symbiosis. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 272, n. 1581, p. 2593-2599, 2005. <http://doi.org/10.1098/rspb.2005.3249>

RØNSTED, N. *et al.* Phylogeny, biogeography, and ecology of *Ficus* section Malvanthera (Moraceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 48, n. 1, p. 12-22, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.04.005>

RUFINO, M. S. M. *et al.* Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH system. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 693-695, 2009.

RUIZ, N.; WARD, D.; SALTZ, D. Calcium oxalate crystals in leaves of *Pancratiumsickenbergeri*: constitutive or induced defence? **Functional Ecology**, v. 16, n. 1, p. 99-105, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.0269-8463.2001.00594.x>

RYDER, V. L. On the morphology of leaves. **Botanical Repertory**, v 20, p. 263-267, 1954.

SACK, L.; FROLE, K. Leaf structural diversity is related to hydraulic capacity in tropical rain forest trees. **Ecology**, v. 87, n. 2, p. 483-491, 2006. <https://doi.org/10.1890/05-0710>

SACK, L.; HOLBROOK, N. M. Leaf hydraulics. **Annual Review of Plant Biology**, v. 57, n. 1, p. 361-381, 2006. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144141>

SACK, L.; TYREE, M. T.; HOLBROOK, N. M. Leaf hydraulic architecture correlates with regeneration irradiance in tropical rainforest trees. **New Phytologist**, v. 167, n. 2, p. 403-413, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01432.x>

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. **Plant Physiology**. 4th ed. Wadsworth, Belmont, CA, 1992.

SANDOVAL-ZAPOTITLA, E.; TERRAZAS, T.; VILLASEÑOR, J. Diversity of mineral inclusions in the subtribe Oncidiinae (Orchidaceae). **Revista de Biología Tropical**, v. 58, n. 2, p. 733-755, 2010.

SANTOS, U. P. *et al.* Antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties as well as the phenolic content of the extract from *Hancornia speciosa* Gomes. **PLOS ONE**, v. 11, n. 12, p. e0167531, 2016.

SANTOS, U. P. *et al.* Physicochemical characterization, microbiological quality and safety, and pharmacological potential of *Hancornia speciosa* Gomes. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2018, n. 1, p. 17, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2976985>

- SEENU, Y. *et al.* Vegetative anatomy of *Tabernaemontana alternifolia* L. (Apocynaceae) endemic to southern Western Ghats, India. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 63, n. 2, p. 185-193, 2019. <https://doi.org/10.14232/abs.2019.2.185-193>
- SIBI, G. *et al.* Plant latex: a promising antifungal agent for post harvest disease control. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 16, n. 23, p. 1737-1743, 2013. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.1737.1743>
- SIMÕES, A. O.; CASTRO, M. M.; KINOSHITA, L. S. Calycine colleters of seven species of Apocynaceae (Apocynoideae) from Brazil. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, p. 387–398, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00572.x>
- SMITH, H. L.; MCAUSLAND, L.; MURCHIE, E. H. Don't ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 9, p. 2099–2110, 2017. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx098>
- SOUZA, A. I. R. D. C. *et al.* The development of anastomosed laticifers in the stem apical meristem and vascular cambium of *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) is related to climatic seasonality. **Trees**, v. 35, p. 1317-1328, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02118-7>
- STEVENS, W. D.; JUÁREZ-JAIMES, V. A New *Marsdenia* (Apocynaceae, Asclepiadoideae) from Baja California. **Novon**, v. 9, n. 4, p. 565–567, 1999. <https://doi.org/10.2307/3392168>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 849 p.
- TERTO, J. *et al.* The genetic structure of *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) reveals two botanical varieties. **Plant Systematics and Evolution**, v. 310, p. 35, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00606-024-01919-w>
- TERASHIMA, I. *et al.* Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, n. 4, p. 684–697, 2009. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp034>
- THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p. 105-121, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- TOMAZI, R. *et al.* Hypoglycemic activity of aqueous extract of latex from *Hancornia speciosa* Gomes: a study in zebrafish and *in silico*. **Pharmaceuticals**, v. 14, n. 9, p. 856, 2021. <https://doi.org/10.3390/ph14090856>
- VIEIRA, M. C. *et al.* Biometrics fruit *Hancornia speciosa* (Gomes) natural occurrence in Savannah of Goiás State. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 1, p. 6–12, 2017. <https://doi.org/10.36560/1012017385>
- WAROWICKA, A.; NAWROT, R.; GOŹDZICKA-JÓZEFIK, A. Pharmacologically Active Compounds from Latex-Bearing Plants. In: **Latex, Laticifers and Their Molecular Components: From Functions to Possible Applications**. Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2020; v. 93, p. 119–151.

WEBSTER, C. BAULKWILL, W. **Rubber**. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK, p.84, 1989.

WEIBLEN, G. D. How to be a fig wasp. **Annual Review of Entomology**, v. 47, n. 1, p. 299-330, 2002. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145213>

WEID, M.; ZIEGLER, J.; KUTCHAN, T. M. The roles of latex and the vascular bundle in morphine biosynthesis in the opium poppy, *Papaver somniferum*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, n. 38, p. 13957-13962, 2004. <https://doi.org/10.1073/pnas.040570410>

WFO. *Rauvolfia verticillata* (LOUR.) BAILL. 2024. Disponível em: <<http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000295201>>. Acessado em: 01 ago 2024.

WILLMER, C.; FRICKER, M. **Stomata**. Springer Science & Business Media, 1996. v. 2.

WOODSON, R. E.; MOORE, J. A. The Vascular Anatomy and Comparative Morphology of Apocynaceous Flowers. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, v. 65, p. 135–166, 1938. <https://doi.org/10.2307/2481100>

YEATS, T.; ROSE, J. The Formation and Function of Plant Cuticles. **Plant Physiology**, v. 163, n. 1, p. 5-20, 2013. <https://doi.org/10.1104/pp.113.222737>

LAWRIE, N. S. *et al.* Systematic review on raphide morphotype calcium oxalate crystals in angiosperms. **AOB Plants**, v. 15, n. 4, p. plad031, 2023. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plad031>

PRYCHID, C. J.; RUDALL, P. J. Calcium oxalate crystals in monocotyledons: a review of their structure and systematics. **Annals of Botany**, v. 84, n. 6, p. 725-739, 1999. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.0975>

WEBB, M. A. Cell-mediated crystallization of calcium oxalate in plants. **The Plant Cell**, v. 11, n. 4, p. 751-761, 1999. <https://doi.org/10.1105/tpc.11.4.751>

CAPÍTULO II

ESTUDO DA VARIABILIDADE DAS CONCENTRAÇÕES DE RUTINA NAS FOLHAS DE QUATRO VARIEDADES DE *Hancornia speciosa* GOMES (APOCYNACEAE)

RESUMO

Hancornia speciosa Gomes (Apocynaceae) é popularmente conhecida como mangabeira. Seus frutos são apreciados na região Centro-Oeste e Nordeste devido ao seu alto potencial bioativo e sabor agradável. Suas propriedades farmacológicas têm sido estudadas, no entanto, a variabilidade química entre suas variedades botânicas ainda é pouco explorada, o que pode impactar sua aplicação farmacológica e comercial. Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar a composição química das folhas de quatro variedades botânicas (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri* e *H. speciosa* var. *pubescens*), cultivadas no banco de germoplasma *ex situ* da Universidade Federal de Goiás (UFG). As matrizes utilizadas no banco de germoplasma são oriundas de regiões do Cerrado: Chapada dos Guimarães – MT (CHA); Jalapão – TO (JAL); Caçu – GO (CAC); Alexânia – GO (ALE); e Barro Alto – GO (BA). Para isso, extratos foliares foram obtidos e analisados por cromatografia a líquido de alta eficiência acoplada a detector de arranjo de diodos (CLAE-DAD) para a quantificação de rutina, um flavonoide de interesse farmacológico devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. A extração foi realizada pelo método sólido-líquido utilizando etanol P.A. 95% como solvente. As amostras foram analisadas em um sistema CLAE-DAD utilizando coluna C18 (4,6 x 100 mm, 2,7 μ m), mantida na temperatura de 30 °C e fase móvel, em gradiente, composta por acetonitrila e solução aquosa de ácido acético 0,2%, a um fluxo de 1 mL/min. O volume de injeção foi de 3 μ L e a detecção em 360 nm. Os resultados evidenciaram diferenças nas concentrações de rutina entre as variedades, demonstrando variação intraespecífica. *H. speciosa* var. *speciosa* apresentou os maiores teores de rutina, com concentrações variando entre 227,11 \pm 7,90 μ g/mL (JAL2) e 1271,93 \pm 4,63 μ g/mL (JAL3). *H. speciosa* var. *cuyabensis* apresentou concentrações variando entre 355,21 \pm 22,83 μ g/mL (CHA1) e 1169,51 \pm 45,79 μ g/mL (CHA2). *H. speciosa* var. *gardneri* apresentou concentrações variando de 180,19 \pm 21,12 μ g/mL (CAC2) a 620,95 \pm 58,15 μ g/mL (CAC1). Para *H. speciosa* var. *pubescens* as concentrações foram 243,14 \pm 11,19 μ g/mL (ALE) e 170,34 \pm 61,29 μ g/mL (BA). Os valores médios dos teores de rutina no material vegetal dos grupos foram comparados utilizando o teste t de Student, adotando-se nível de significância de $p < 0,05$. As diferenças significativas entre as variedades, reforçam a influência da diversidade genética na produção de metabólitos secundários, uma vez que, as variedades analisadas estão em uma mesma localidade (Banco de Germoplasma), sob as mesmas condições de cultivo. Os resultados indicam que *H. speciosa* var. *speciosa* e *H. speciosa* var. *cuyabensis* possuem maior potencial para aplicações farmacêuticas e biotecnológicas, enquanto *H. speciosa* var. *pubescens* apresentou os menores teores de rutina. Porém, faz-se necessário realizar análises sazonais para verificar se essas diferenças são consistentes. Esses achados fornecem informações essenciais para a seleção de variedades com maior valor bioativo, favorecendo o desenvolvimento de bioprodutos e estratégias de conservação da espécie.

Palavras-chave: mangabeira, rutina, CLAE, variabilidade química.

ABSTRACT

Hancornia speciosa Gomes (Apocynaceae) is popularly known as mangabeira. Its fruits are valued in the Central-West and Northeast regions of Brazil due to their high bioactive potential and pleasant flavor. Its pharmacological properties have been studied; however, the chemical variability among its botanical varieties remains largely unexplored, which can impact its pharmacological and commercial application. In this context, this study aimed to analyze the

chemical composition of leaves from four botanical varieties (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri*, and *H. speciosa* var. *pubescens*), cultivated in the ex situ germplasm bank of the Federal University of Goiás (UFG). The accessions in the germplasm bank originate from different regions of the Cerrado biome: Chapada dos Guimarães – MT (CHA); Jalapão – TO (JAL); Caçu – GO (CAC); Alexânia – GO (ALE); and Barro Alto – GO (BA). To this end, leaf extracts were obtained and analyzed by high-performance liquid chromatography coupled to a diode-array detector (HPLC-DAD) for the quantification of rutin, a flavonoid of pharmacological interest due to its antioxidant and anti-inflammatory properties. The extraction was performed by the solid-liquid method using 95% analytical grade ethanol as the solvent. Samples were analyzed on an HPLC-DAD system using a C18 column (4.6 x 100 mm, 2.7 μ m), maintained at 30 °C. A gradient mobile phase, composed of acetonitrile and a 0.2% aqueous acetic acid solution, was used at a flow rate of 1 mL/min. The injection volume was 3 μ L, and detection was performed at 360 nm. The results revealed differences in rutin concentrations among the varieties, demonstrating intraspecific variation. *H. speciosa* var. *speciosa* showed the highest rutin levels, with concentrations ranging from 227.11 ± 7.90 μ g/mL (JAL2) to 1271.93 ± 4.63 μ g/mL (JAL3). *H. speciosa* var. *cuyabensis* had concentrations ranging from 355.21 ± 22.83 μ g/mL (CHA1) to 1169.51 ± 45.79 μ g/mL (CHA2). *H. speciosa* var. *gardneri* presented concentrations ranging from 180.19 ± 21.12 μ g/mL (CAC2) to 620.95 ± 58.15 μ g/mL (CAC1). For *H. speciosa* var. *pubescens*, the concentrations were 243.14 ± 11.19 μ g/mL (ALE) and 170.34 ± 61.29 μ g/mL (BA). The mean rutin content values of the groups were compared using Student's t-test, with a significance level set at $p < 0.05$. The significant differences among the varieties reinforce the influence of genetic diversity on the production of secondary metabolites, as the analyzed varieties were grown in the same location (Germplasm Bank) under identical cultivation conditions. The results indicate that *H. speciosa* var. *speciosa* and *H. speciosa* var. *cuyabensis* have greater potential for pharmaceutical and biotechnological applications, whereas *H. speciosa* var. *pubescens* showed the lowest rutin levels. However, further seasonal analyses are required to verify the consistency of these differences. These findings provide essential information for selecting varieties with higher bioactive value, thereby supporting the development of bioproducts and conservation strategies for the species.

Keywords: mangabeira, rutin, HPLC, chemical variability.

2.1. INTRODUÇÃO

A espécie *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae), nativa do Cerrado, tem atraído crescente interesse devido ao seu potencial farmacológico, principalmente pela presença de metabólitos secundários de relevância terapêutica (Torres-Rêgo *et al.*, 2016). Dentre esses compostos, a rutina, tem sido identificada por diferentes autores como constituinte das folhas de *H. speciosa* (Geller *et al.*, 2015; Leite *et al.*, 2020; Lemos, 2023). Estudos de caracterização química empregando técnicas como cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) confirmaram a presença e quantificaram a rutina em extratos foliares, evidenciando variações significativas em suas concentrações entre indivíduos e populações naturais da espécie (Machado *et al.*, 2018). Essas investigações corroboram a importância de estudos sistemáticos sobre a variabilidade química intraespecífica, visto que a disponibilidade e o potencial terapêutico dos metabólitos bioativos podem estar intrinsecamente relacionados a fatores genéticos e ambientais que influenciam essas concentrações (Le *et al.*, 2023; Wu *et al.*, 2023).

Além disso, a elucidação do perfil fitoquímico de espécies vegetais tem se mostrado uma ferramenta relevante não apenas para o desenvolvimento de novos fitoterápicos (Guirado & Cuéllar, 2008) mas também para fins taxonômicos (Rojas-Marquez & Amaro-Luis, 2015). Análises comparativas de metabólitos secundários por cromatografia vêm sendo amplamente empregadas em diversos gêneros de Apocynaceae e outras famílias, permitindo distinguir espécies próximas ou identificar variedades com potencial funcional diferenciado (Ferrerres *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2022). Assim, a avaliação da variabilidade das concentrações de rutina em variedades de *Hancornia speciosa* se justifica tanto pelo impacto farmacológico esperado quanto pelo potencial de fornecer subsídios para discussões taxonômicas e de manejo dessa espécie no Cerrado brasileiro.

A rutina (3,3',4',5,7-pentahidroxiflavona-3-ramnoglicosídeo) é um flavonoide amplamente distribuído em várias espécies vegetais, como trigo-sarraceno, cebola, maçã e uvas (Oomah & Mazza, 1996; Thomson *et al.*, 1999). Esse composto é a principal forma glicosídica da quercetina, um dos flavonoides mais abundantes em frutas e vegetais, sendo também conhecida como vitamina P (Harbone, 1986; Hosseinzadeh & Nassiri-Asl, 2014). Além de seu papel estrutural nas plantas, a rutina possui propriedades farmacológicas significativas, como atividades anti-inflamatória, gastroprotetora, antidiabética, hepatoprotetora e antioxidante (Hernandez-Leon *et al.*, 2017; Hosseinzadeh & Nassiri-Asl, 2014).

A espécie *Hancornia speciosa* apresenta seis variedades botânicas, como *H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri* e *H. speciosa* var.

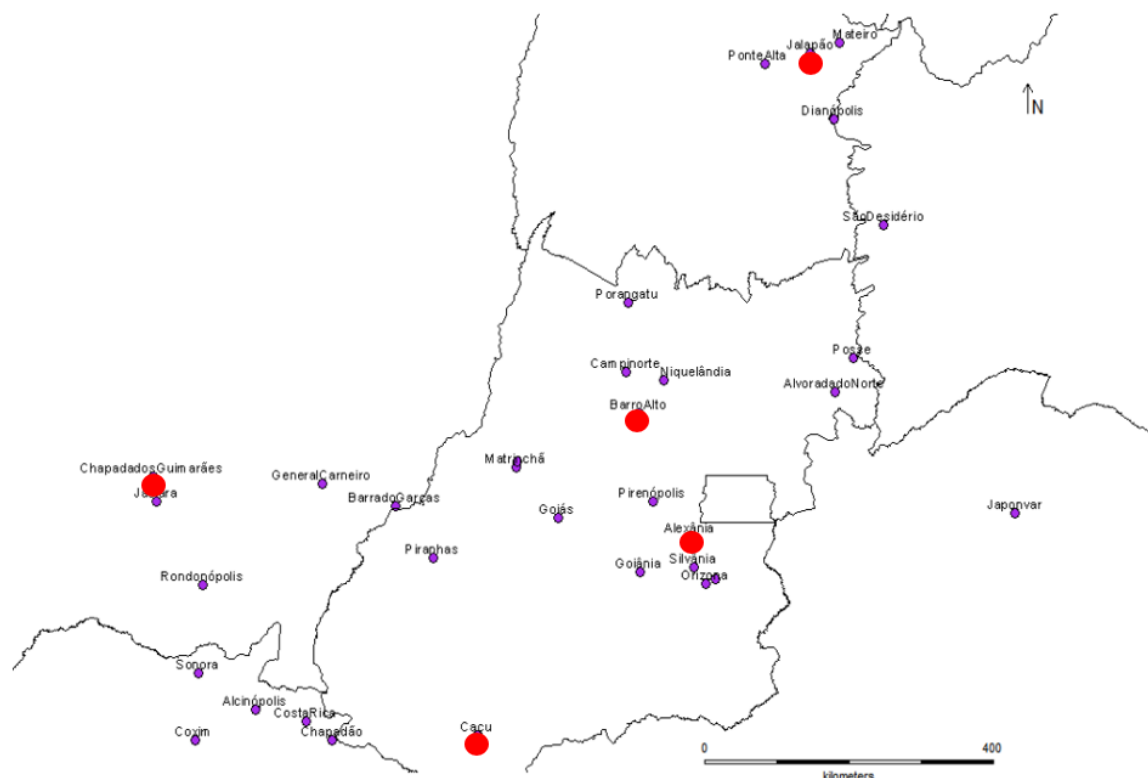
pubescens, representadas no banco de germoplasma da Universidade Federal de Goiás (Flores et al., 2018). Contudo, a caracterização química dessas variedades, especialmente no que tange à concentração de rutina, ainda é incipiente. Diante disso, este capítulo tem como objetivo analisar a variabilidade das concentrações de rutina nas folhas de quatro variedades de *Hancornia speciosa*. Os dados obtidos contribuirão para a compreensão da variabilidade intraespecífica da espécie, fornecendo subsídios para o controle de qualidade de matérias-primas vegetais, com implicações na conservação genética, na taxonomia e na elucidação do potencial farmacológico da *Hancornia speciosa*.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1. Coleta e processamento do material vegetal

A coleta do material vegetal (folhas) foi realizada no banco de germoplasma da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG). Foram selecionadas quatro variedades botânicas de *Hancornia speciosa*: *H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis* Malme, *H. speciosa* var. *gardneri* (A. DC.) Muell. Arg., *H. speciosa* var. *pubescens* (Nees. e Martius) Muell. Arg. O banco de germoplasma da EA/UFG contempla a representação *ex situ* e *in vivo* de progênies de diversas áreas geográficas do Cerrado brasileiro. As amostras escolhidas para o estudo são oriundas de matrizes de 5 regiões geográficas: Barro Alto – GO (*H. speciosa* var. *pubescens*); Alexânia – GO (*H. speciosa* var. *pubescens*); Chapada dos Guimarães – MT (*H. speciosa* var. *cuyabensis*); Caçu – GO (*H. speciosa* var. *gardineri*); e Jalapão – TO (*H. speciosa* var. *speciosa*) (Figura 1).

Figura 1. Localidades de coleta (em vermelho) das subpopulações de mangabeira do Cerrado representadas na coleção da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás.



Fonte: Adaptada de Rodrigues (2009).

Foram coletados três indivíduos de cada variedade botânica e um espécime de cada indivíduo foi depositado no Herbário da Universidade Estadual de Goiás (HUEG) com os números de tombo e coordenadas geográficas das coletas no banco de germoplasma apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Municípios das matrizes, códigos das amostras, coordenadas dos indivíduos e códigos de depósito no Herbário da Universidade Estadual de Goiás (HUEG).

Município- Estado	Código	Latitude (S)	Longitude (O)	Variedade Botânica	Código HUEG
Barro Alto- GO	BA	16° 35' 38.580"	49° 17' 25.404"	<i>H. speciosa</i> var.	16810
Alexânia- GO	ALE	16° 35' 38.688"	49° 17' 25.044"	<i>pubescens</i>	16808
Caçu- GO	CAC1	16° 35' 38.976"	49° 17' 25.080"	<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>	16805
	CAC2	16° 35' 38.832"	49° 17' 25.944"		16806
	CAC3	16° 35' 38.472"	49° 17' 26.340"		16807
Chapada dos Guimarães- MT	CHA1	16° 35' 38.472"	49° 17' 25.368"	<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>	16812
	CHA2	16° 35' 38.688"	49° 17' 25.260"		16813
	CHA3	16° 35' 39.300"	49° 17' 26.088"		16814
Jalapão- TO	JAL1	16° 35' 38.994"	49° 17' 26.016"	<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	
	JAL2	16° 17' 25.404"	49° 17' 25.404"		

Folhas frescas de cada espécime foram coletadas de ramos completamente expandidos. Elas foram secas em ambiente separado, sombreado e arejado, a temperatura ambiente ($30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) por 10 dias. Após a secagem foi utilizado um processador de alimentos para triturar cada material. As amostras pulverizadas foram acondicionadas individualmente em sacos plásticos escuros e etiquetados, e armazenadas até o momento das análises.

2.2.2. *Triagem de compostos fenólicos e flavonoides*

Para a triagem qualitativa de compostos fenólicos e flavonoides, nos extratos foram utilizados padrões analíticos adquiridos da Sigma-Aldrich, incluindo ácido cafeico, ácido gálico, apigenina, (+)-catequina, (+)-epicatequina, kaempferol, quercetina, resveratrol e rutina. Cada padrão foi preparado separadamente em solução metanólica grau CLAE, na concentração de 0,2% (p/v), com exceção do kaempferol, que foi diluído a 0,08% (p/v). Em seguida, volumes de 150 μL de cada solução foram transferidos e combinados em proporções iguais em um mesmo frasco (*vial*), constituindo uma mistura padrão (*pool*). As soluções padrões individuais e o *pool* foram filtrados em filtro PTFE de 0,45 μm e transferidos para *vials*.

Para os extratos das amostras vegetais, 1g de cada amostra foi transferido para um balão volumétrico de 25 mL e acrescentou-se 10 mL de etanol P.A. 95% (medidos em pipeta volumétrica). Em seguida, os balões foram mantidos em banho de ultrassom (Ultronique mod. Q5.9/40A, frequência 40kHz e potência 200W) por 30 minutos ao abrigo de luz, a temperatura ambiente. Os conteúdos dos balões foram filtrados em papel filtro, os filtrados foram recolhidos em tubos tipo eppendorf e centrifugados por 15 minutos. Os sobrenadantes foram novamente filtrados, utilizando seringa e filtro PTFE de 0,45 μm e armazenados em *vials* a -18°C até a análise. Os extratos vegetais foram preparados um dia antes de cada análise e em triplicatas.

Os extratos, padrões analíticos e o *pool* foram submetidos à análise por Cromatografia a Líquido de Alta Eficiência (CLAE) utilizando o sistema HPLC Agilent Technologies 1260 Infinity II, operado com o software OpenLab CDS. O equipamento estava acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD, modelo G7115A), injetor automático e uma coluna cromatográfica Agilent InfinityLab Poroshell 120 EC-C18 ($4,6 \times 100\text{ mm}$, $2,7\text{ }\mu\text{m}$), mantida a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. As injeções foram realizadas com volume de 5 μL , e o fluxo da fase móvel foi ajustado para 1 mL/min. A detecção foi conduzida simultaneamente em três comprimentos de onda: 280, 306 e 360 nm. A fase móvel foi composta por acetonitrila (solução A) e água ultrapura

acidificada com 0,2% de ácido acético (solução B), sendo empregada uma eluição em gradiente conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Gradiente da fase móvel para caracterização do material vegetal.

Tempo (min)	A (%)	B (%)
0-5	2	98
5-8	5	95
8-11	20	80
11-14	25	75
14-21	40	60
21-24	80	20
24-27	90	10
27-30	5	95

Acetonitrila (A); Ácido Acético (B)

2.2.3. Determinação das concentrações de rutina nos extratos

Após as análises qualitativas, que confirmaram a ocorrência de rutina entre os compostos majoritários nas amostras, foram conduzidas análises quantitativas, por meio da confecção de curvas analíticas com a rutina como substância química de referência (SQR). Para tanto, preparou-se, uma solução mãe contendo a SQR em uma concentração de 2000 µg/mL, utilizando metanol grau CLAE. Essa solução foi sonicada por 30 minutos até completa dissolução. A partir dessa solução mãe foram preparadas seis diluições em metanol, em triplicata, correspondentes às concentrações de 50 µg/mL, 100 µg/mL, 300 µg/mL, 500 µg/mL, 1000 µg/mL, e 1500 µg/mL. Em seguida, todas as soluções foram filtradas por meio de filtro PTFE de 0,45 µm, transferidas para frascos âmbar (*vials*) e armazenadas a uma temperatura de -18 °C até a realização das análises, sendo que esse período não excedeu 24 h.

As soluções das diferentes concentrações da SQR e as amostras dos extratos (preparados conforme item 2.2.2) foram submetidos à análise por cromatografia a líquido de alta eficiência (CLAE), em um cromatógrafo HPLC modelo 1260 Infinity II da Agilent Technologies, com detector de arranjo de diodos e injetor automático, controlado pelo software OpenLab CDS. As separações ocorreram em uma coluna cromatográfica Agilent Infinity Lab Poroshell 120 EC – C18, com dimensões de 4,6 x 100 mm e tamanho de partícula de 2,7 µm. As condições cromatográficas empregadas em todas as análises foram baseadas em método analítico validado por Ramalho *et al.* (2023), com pequenas adaptações. Resumidamente, a temperatura da coluna foi mantida constante em 30 °C durante todas as análises. O volume de injeção foi ajustado para 3 µL, enquanto o fluxo da fase móvel foi fixado em 1 mL/min. A detecção espectrofotométrica

foi realizada em três diferentes comprimentos de onda, a saber: 340 nm, 355 nm e 360 nm. A fase móvel foi constituída por uma solução de acetonitrila grau CLAE (solução A) e água ultrapura acidificada com ácido acético a 0,2% (solução B). A separação dos analitos foi conduzida mediante aplicação de um método de gradiente, cujas proporções relativas de A e B ao longo do tempo encontram-se descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Gradiente da fase móvel para quantificação de rutina no material vegetal.

Tempo (min)	A (%)	B (%)
0-5	5	95
5-8	20	80
8-11	35	65
11-14	40	60
14-21	2	98
21-25	5	95
Acetonitrila (A); Ácido Acético (B)		

As áreas obtidas para as diferentes concentrações da SRQ foram plotadas no eixo das ordenadas (eixo y), enquanto as concentrações correspondentes foram dispostas no eixo das abscissas (eixo x). A equação da reta gerada (Equação 1), juntamente com os coeficientes de correlação (r), de determinação (r^2) e a análise dos resíduos, foi calculada pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Durante o processo, foram analisadas a homocedasticidade e a normalidade dos dados obtidos. Todas as análises relacionadas à curva analítica foram conduzidas com o suporte do software Action Stat (2014), versão 3.0.

Equação 1:

$$y = ax + b$$

Sendo:

- a: Inclinação da reta em relação aos eixos (coeficiente angular);
- b: Interseção da reta com o eixo y (coeficiente linear).

As concentrações ($\mu\text{g/mL}$) de rutina nas amostras (extratos) foram calculadas utilizando-se a Equação 1 gerada na análise de regressão linear dos dados da curva de calibração da rutina. Estes valores foram convertidos em % (m/m), considerando-se os fatores de diluição das amostras, para estimar o teor de rutina no material vegetal seco.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A rutina, um flavonoide glicosídico conhecido por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, frequentemente é utilizada como um marcador químico em estudos de padronização e qualidade de extratos vegetais (Tiberti *et al.*, 2007). Os parâmetros cromatográficos, como a escolha da coluna, a composição da fase móvel e o detector, desempenham papel central na quantificação de rutina. A coluna C18, amplamente utilizada devido à sua estabilidade química, e fases móveis como metanol:água ou acetonitrila:água são recomendadas para flavonoides (Su *et al.*, 2008; Sammani *et al.*, 2021).

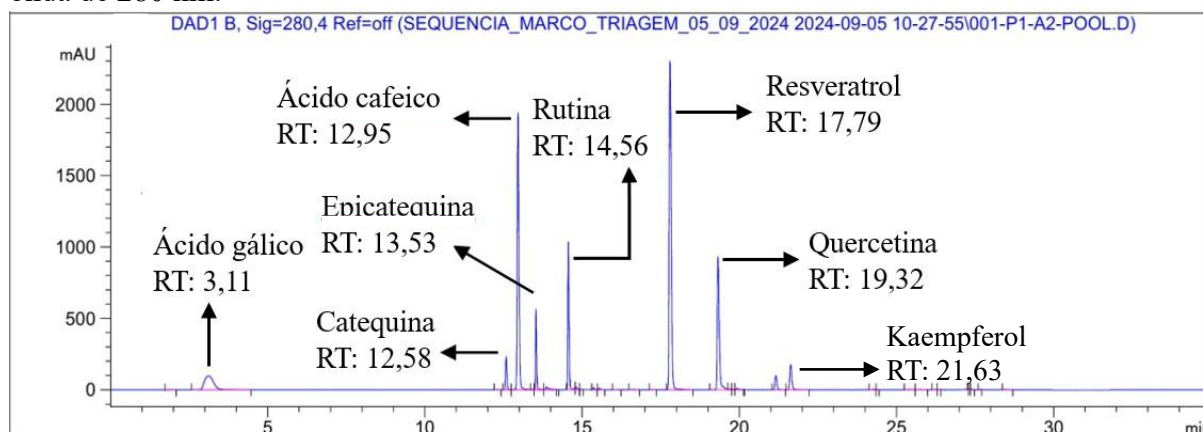
Com base na análise fitoquímica realizada a partir do *pool* de padrões analíticos e dos extratos foliares de diferentes variedades de *Hancornia speciosa*, foi possível identificar os compostos fenólicos apresentados na Tabela 3. A escolha dos compostos investigados foi direcionada pela disponibilidade de padrões analíticos no laboratório, o que determinou o escopo dos alvos analisados neste estudo.

Os perfis cromatográficos obtidos para o *pool* de padrões analíticos e os extratos, registrados a 280 nm, são apresentados nas Figuras 2 (*pool*) e Figuras 3-13 (amostras vegetais). A identificação da rutina em todas as variedades foi confirmada por meio da comparação entre os tempos de retenção e os espectros obtidos com os do *pool* de padrões conforme as Figuras 14-17.

Dentre os compostos identificados, a rutina foi detectada em todas as amostras analisadas, com tempos de retenção variando entre 14,56 e 14,59 minutos, caracterizando-se como o composto majoritário, nas condições analíticas utilizadas nesse estudo. O ácido cafeico também foi consistentemente identificado em todas as variedades, apresentando tempos de retenção entre 12,44 e 12,48 minutos, evidenciando sua ampla ocorrência na planta. Compostos como (+)-catequina (BA; ALE1; CAC1; CAC2; CAC3; CHA2; JAL1; JAL2) e (+)-epicatequina (BA) foram detectados apenas em amostras específicas, enquanto outros compostos, como resveratrol, quercetina e ácido gálico, não foram identificados, o que pode indicar sua ausência ou a presença em níveis inferiores ao limite de detecção do método utilizado. Essa limitação sugere a necessidade da aplicação de abordagens cromatográficas complementares em estudos futuros.

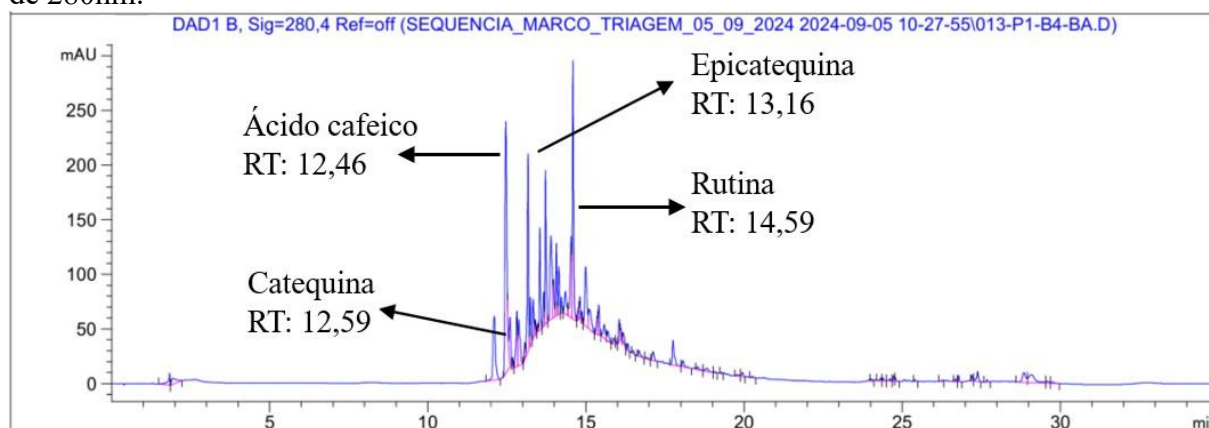
[illegible]

Figura 2. Cromatograma do *pool* de compostos fenólicos de referência no comprimento de onda de 280 nm.



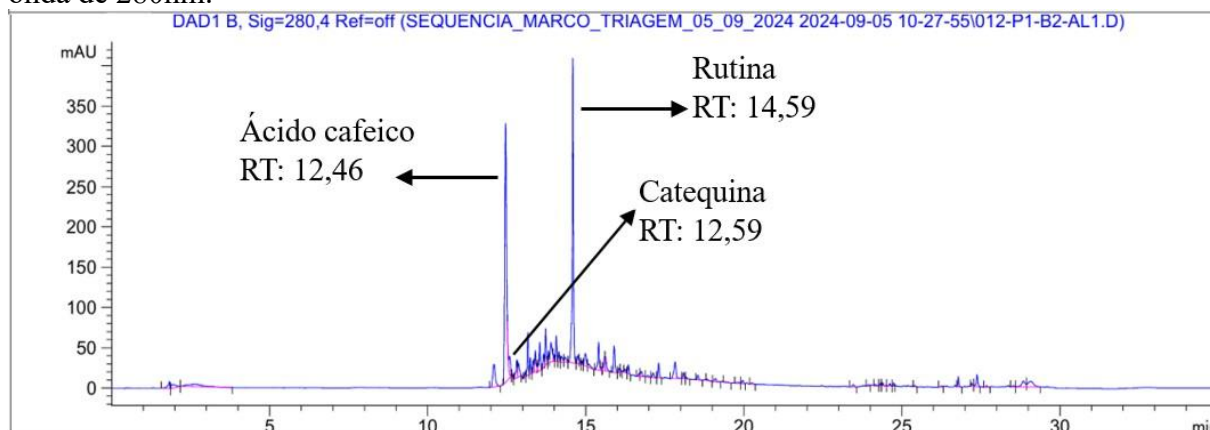
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 3. Cromatograma da amostra BA (*H. speciosa* var. *pubescens*) no comprimento de onda de 280nm.



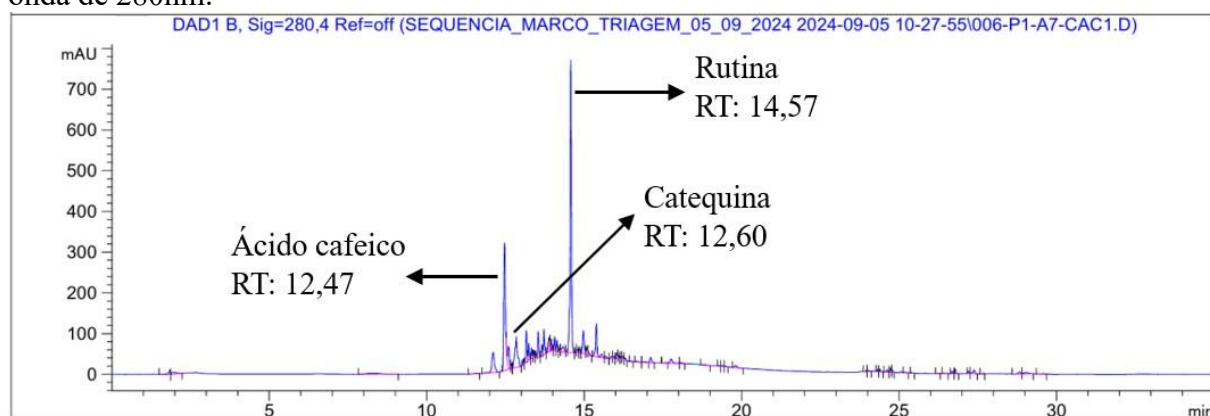
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 4. Cromatograma da amostra ALE1 (*H. speciosa* var. *pubescens*) no comprimento de onda de 280nm.



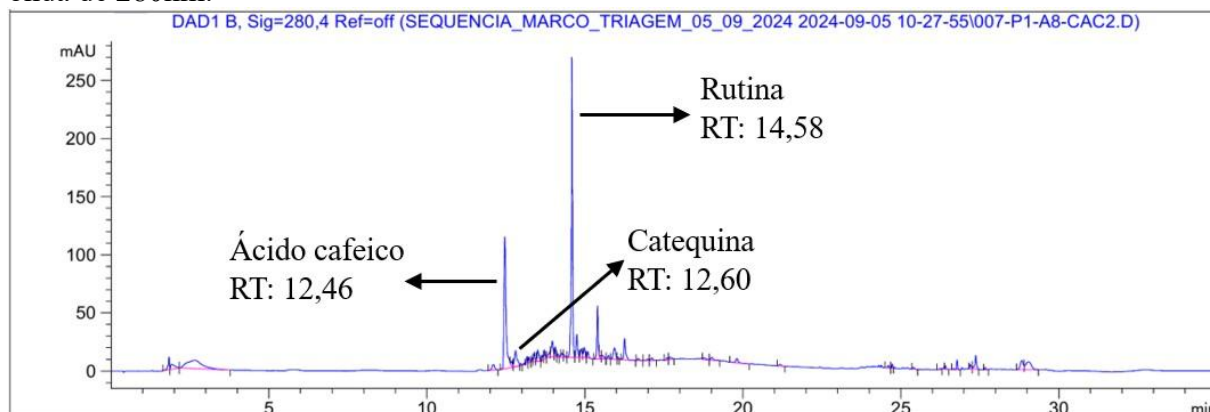
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8-11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 5. Cromatograma da amostra CAC1 (*H. speciosa* var. *gardineri*) no comprimento de onda de 280nm.



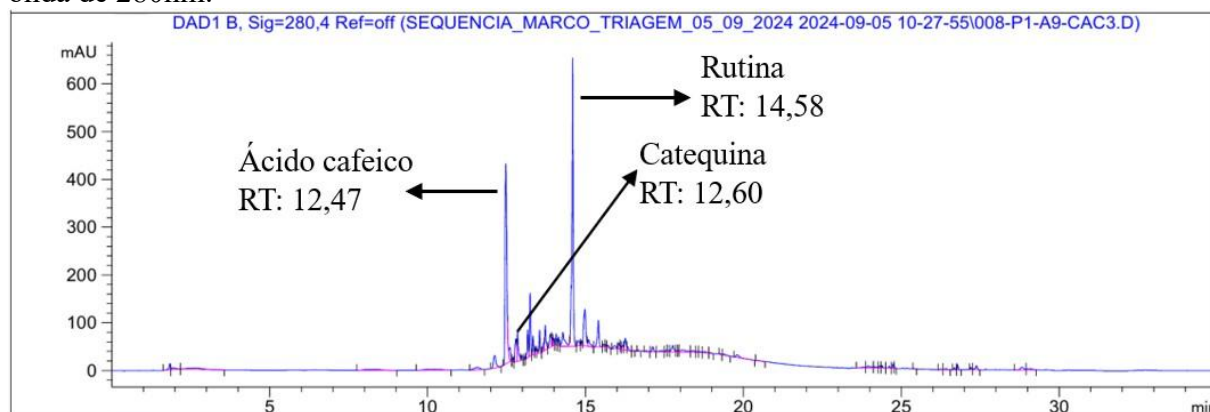
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8-11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 6. Cromatograma da amostra CAC2 (*H. speciosa* var. *gardineri*) no comprimento de onda de 280nm.



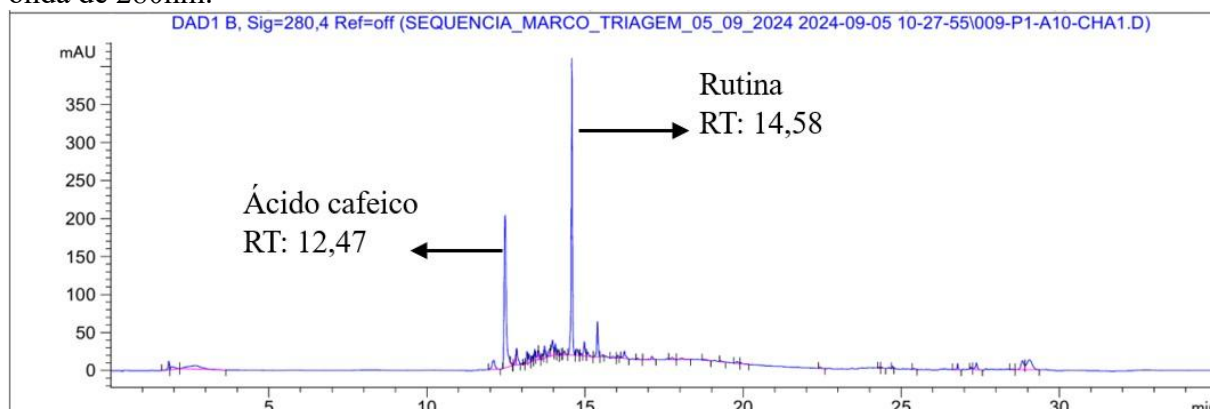
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 7. Cromatograma da amostra CAC3 (*H. speciosa* var. *gardineri*) no comprimento de onda de 280nm.



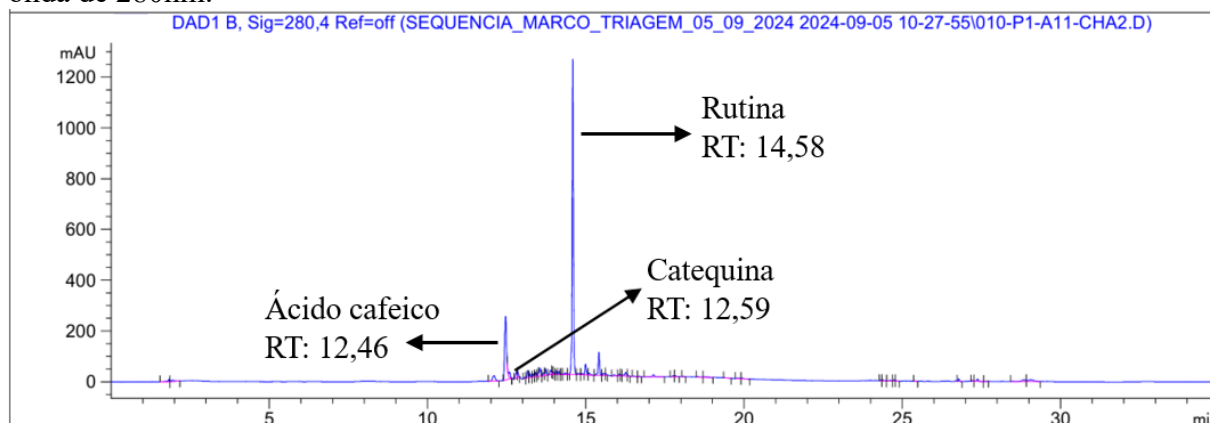
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 8. Cromatograma da amostra CHA1 (*H. speciosa* var. *cuyabensis*) no comprimento de onda de 280nm.



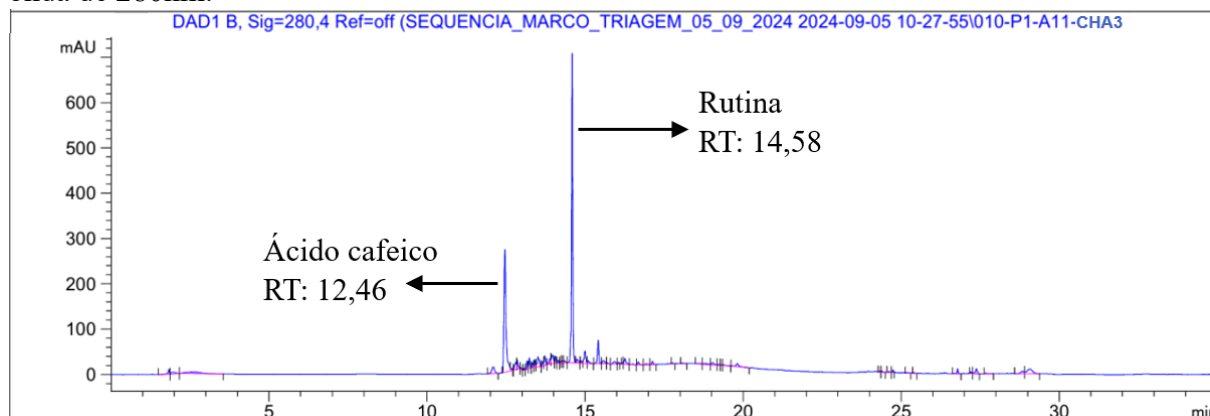
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 9. Cromatograma da amostra CHA2 (*H. speciosa* var. *cuyabensis*) no comprimento de onda de 280nm.



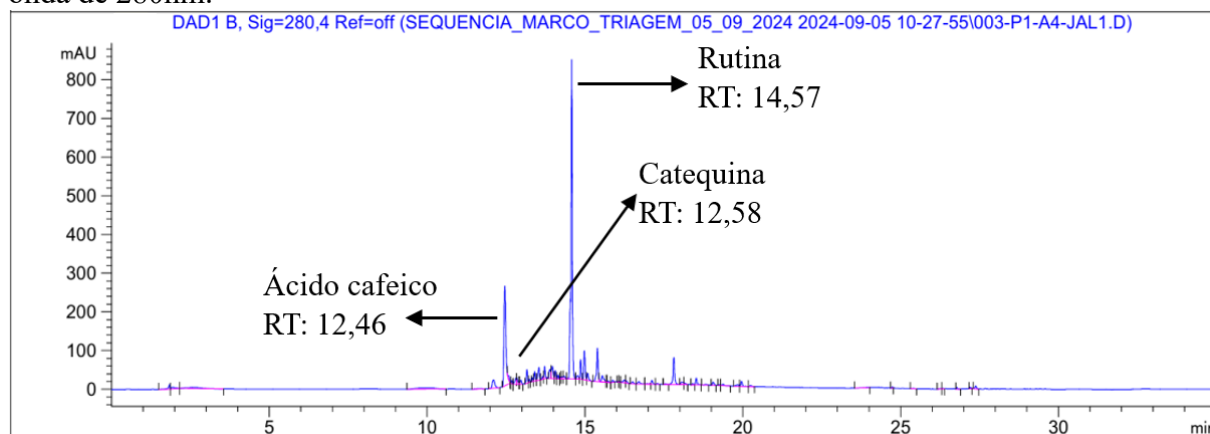
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v), 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 10. Cromatograma da amostra CHA3 (*H. speciosa* var. *cuyabensis*) no comprimento de onda de 280nm.



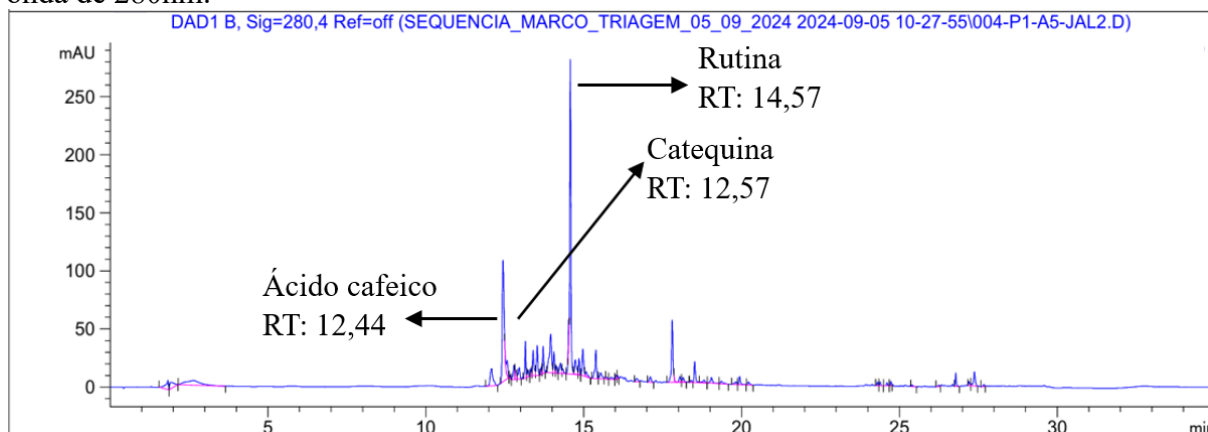
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v); 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 11. Cromatograma da amostra JAL1 (*H. speciosa* var. *speciosa*) no comprimento de onda de 280nm.



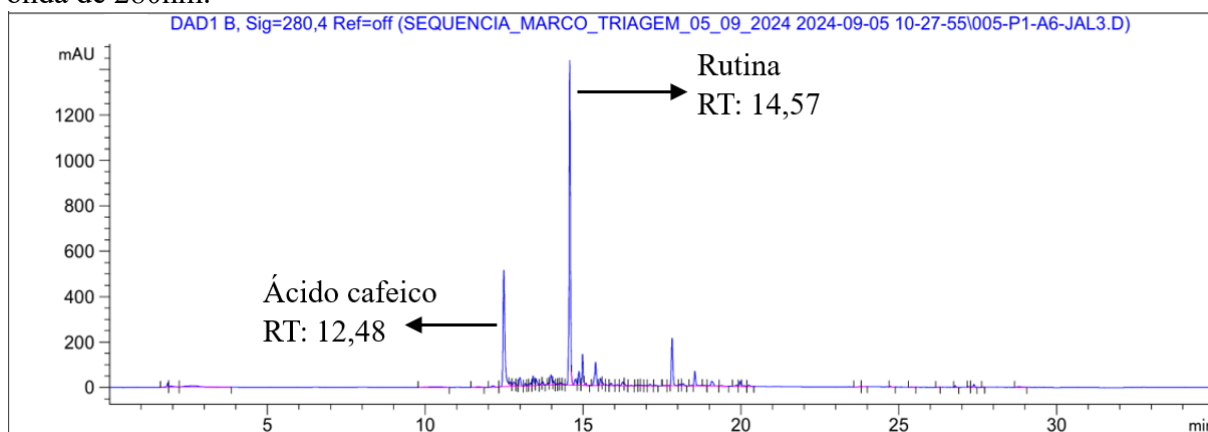
Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v); 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8:11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 12. Cromatograma da amostra JAL2 (*H. speciosa* var. *speciosa*) no comprimento de onda de 280nm.



Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v); 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8-11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 13. Cromatograma da amostra JAL3 (*H. speciosa* var. *speciosa*) no comprimento de onda de 280nm.



Legenda: Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (2:98, v/v); 5-8 min, A:B (5:95, v/v); 8-11 min, A:B (20:80, v/v); 11-14 min, A:B (25:75, v/v); 14-21 min, A:B (40:60, v/v); 21-24 min, A:B (80:20, v/v); 24-27 min, A:B (90:10, v/v); 27-30 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 5 μ L, comprimento de onda = 280 nm.

Figura 14. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no *pool* (A); BA (B); e ALE1 (C).

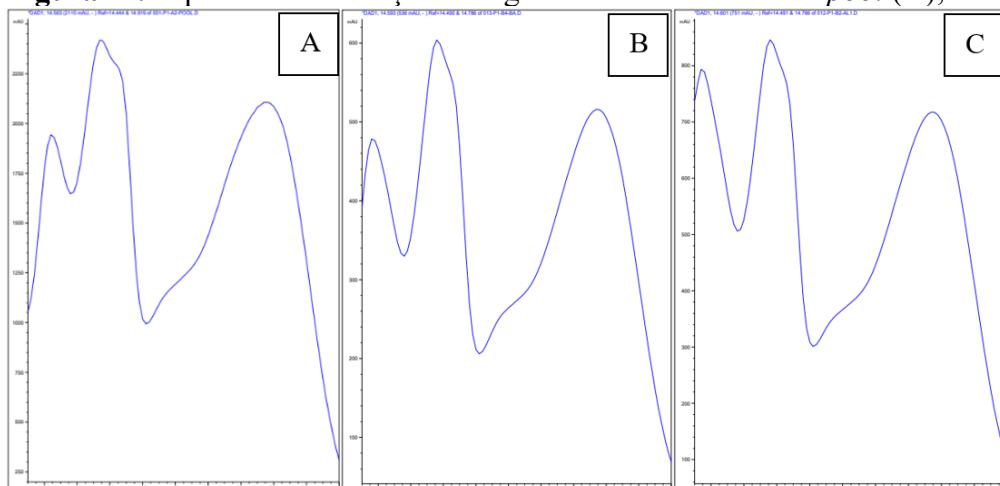


Figura 15. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no *pool* (A); CAC1 (B); e CAC2 (C); e CAC3 (D).

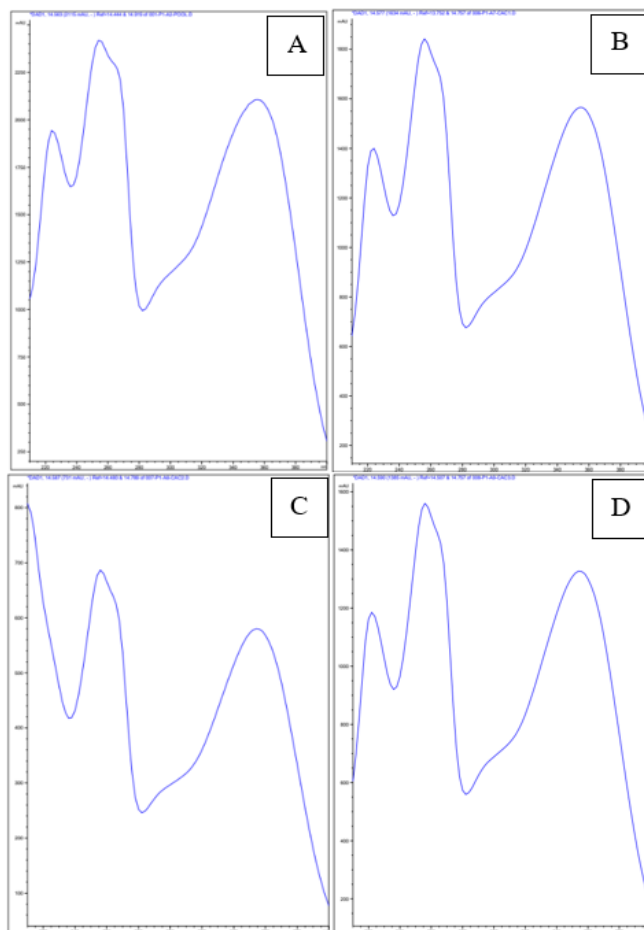


Figura 16. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no *pool* (A); CHA1 (B); e CHA2 (C); e CHA3 (D).

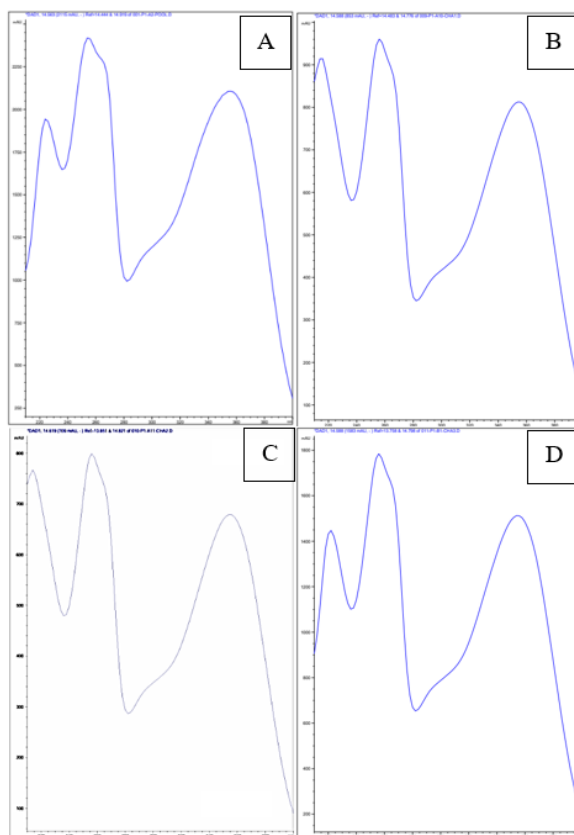
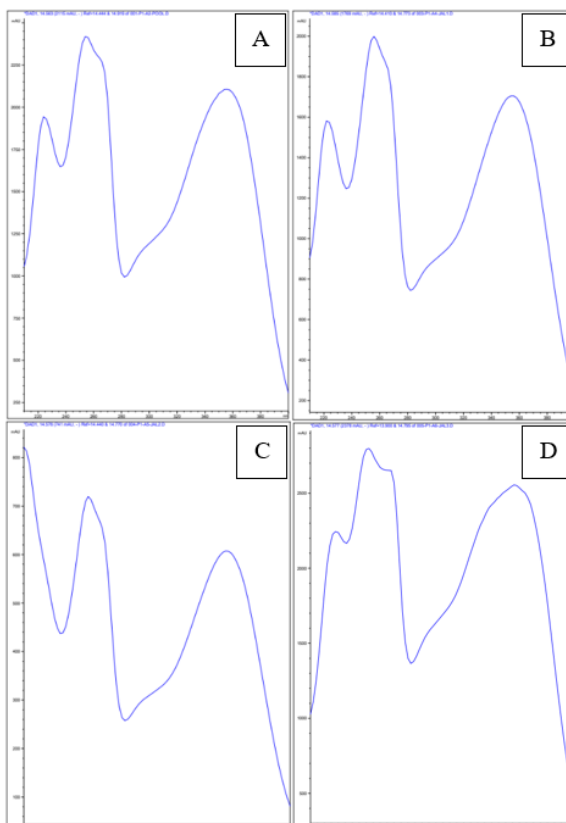
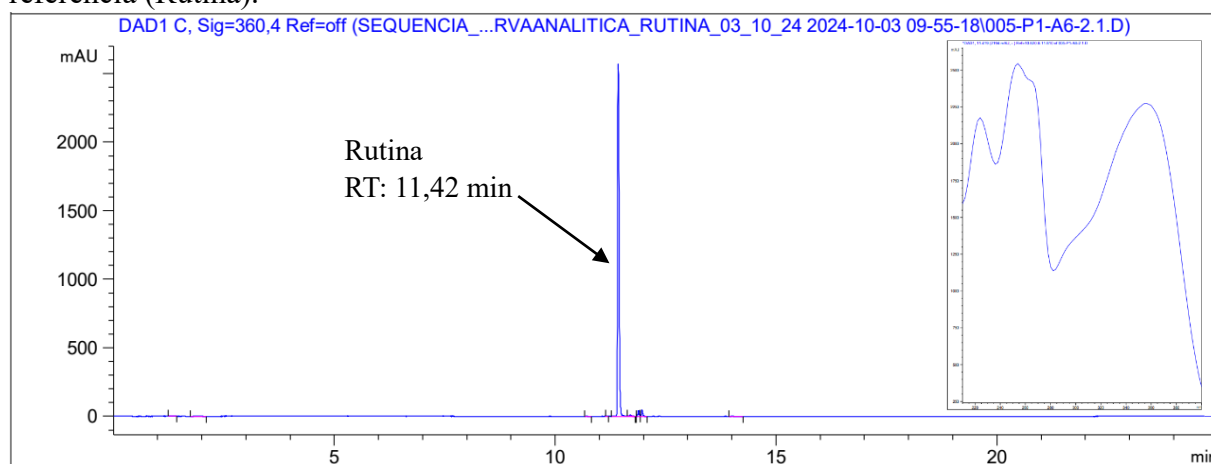


Figura 17. Espectros de absorção na região UV-Vis da rutina no *pool* (A); CHA1 (B); e CHA2 (C); e CHA3 (D).



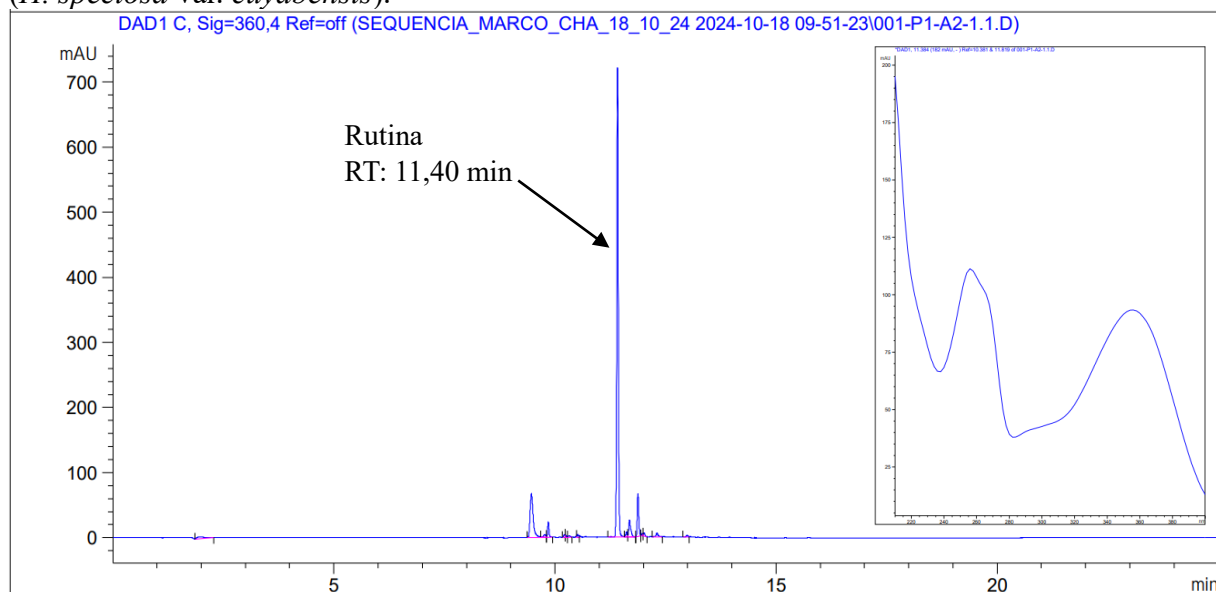
Após as análises de triagem fitoquímica e a confirmação da rutina como composto majoritário em todas as variedades, foram realizadas novas análises em CLAE para adequação do método cromatográfico e dar sequência a quantificação de rutina. Abaixo temos o cromatograma e os espectros de absorção da SQR da rutina (Figura 18), da amostra CHA (*H. speciosa* var. *cuyabensis*) (Figura 19), CAC (*H. speciosa* var. *gardineri*) (Figura 20), JAL (*H. speciosa* var. *speciosa*) (Figura 21) e BA (*H. speciosa* var. *pubescens*) (Figura 22). O comprimento de onda escolhido foi de 360 nm. Com base nos tempos de retenção (TR) dos cromatogramas das amostras e da SQR, assim como na análise comparativa dos espectros, pode-se observar que a rutina está presente em todas as amostras. O TR da SQR variou de 11,39 a 11,43 minutos; o TR da rutina na amostra CHA variou de 11,40 a 11,41 minutos; na amostra CAC foi de 11,41 minutos; já na amostra JAL teve uma variação no TR de 11,41 a 11,42 minutos; por fim, na amostra BA e ALE o tempo de retenção foi de 11,41 minutos.

Figura 18. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da substância química de referência (Rutina).



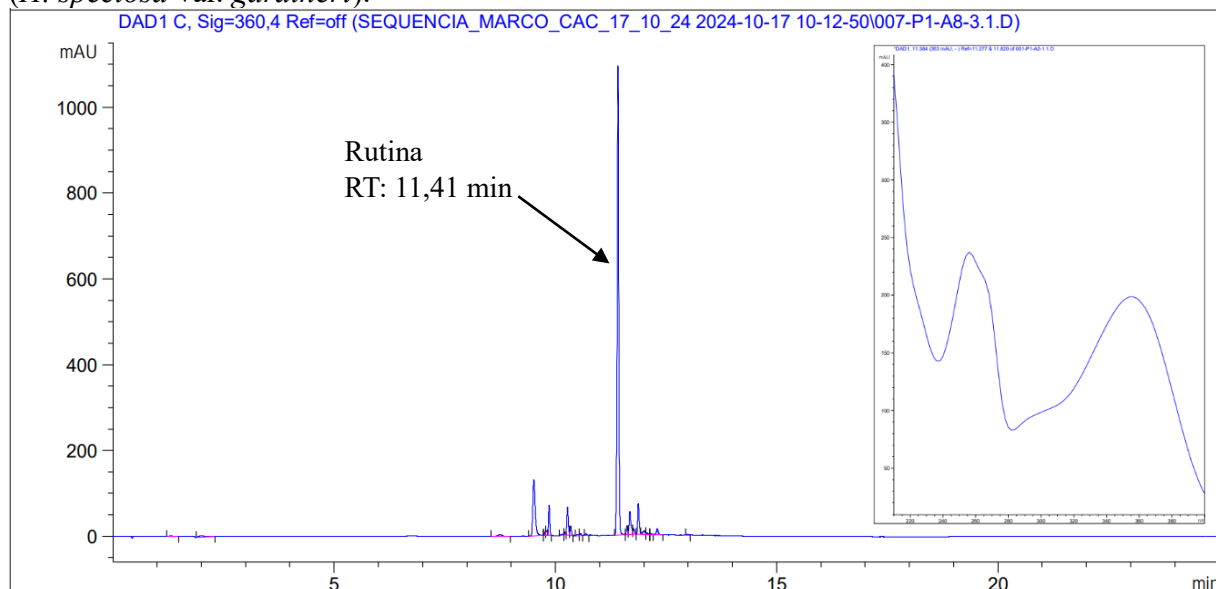
Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (5:95, v/v); 5-8min, A:B (20:80, v/v); 8-11 min, A:B (35:65, v/v); 11-14 min, A:B (40:60, v/v); 14-21 min, A:B (2:98, v/v); 21-25 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 3 μ L, comprimento de onda = 360 nm.

Figura 19. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra CHA (*H. speciosa* var. *cuyabensis*).



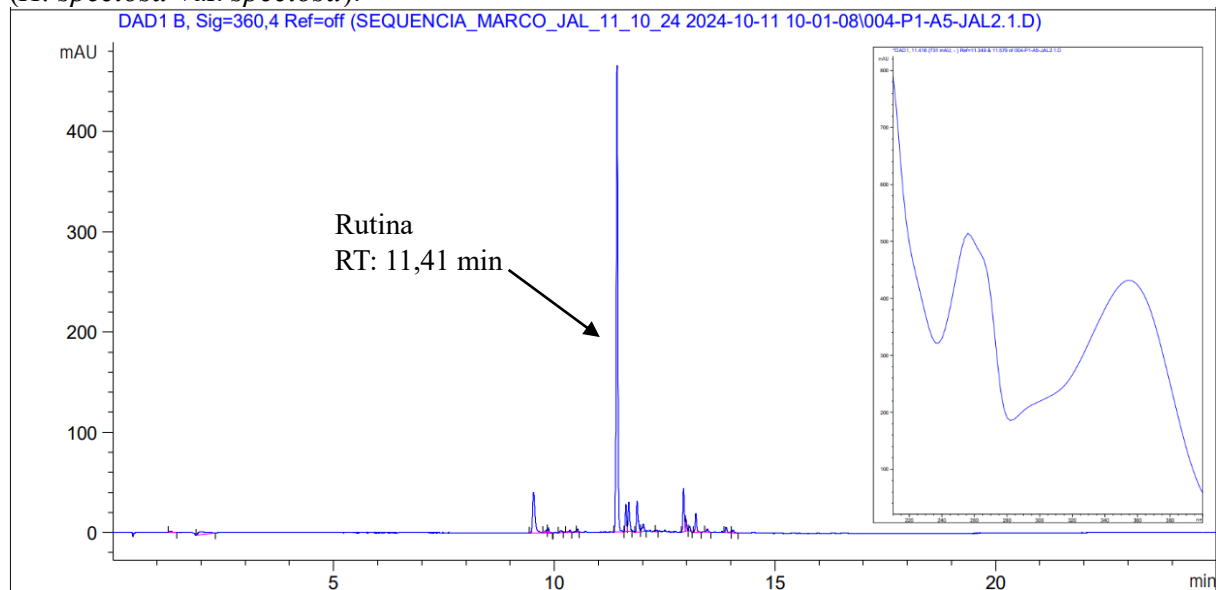
Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (5:95, v/v); 5-8min, A:B (20:80, v/v); 8-11 min, A:B (35:65, v/v); 11-14 min, A:B (40:60, v/v); 14-21 min, A:B (2:98, v/v); 21-25 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 3 μ L, comprimento de onda = 360 nm.

Figura 20. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra CAC (*H. speciosa* var. *gardineri*).



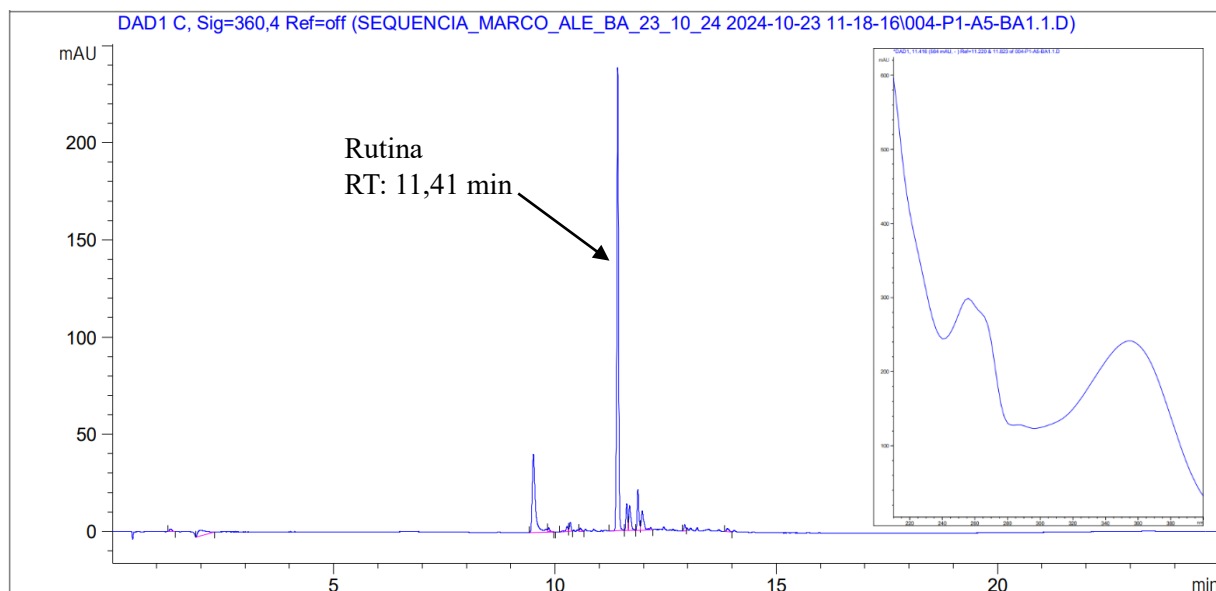
Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (5:95, v/v); 5-8min, A:B (20:80, v/v); 8-11 min, A:B (35:65, v/v); 11-14 min, A:B (40:60, v/v); 14-21 min, A:B (2:98, v/v); 21-25 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 °C; volume de injeção = 3 μ L, comprimento de onda = 360 nm.

Figura 21. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra JAL (*H. speciosa* var. *speciosa*).



Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (5:95, v/v); 5-8min, A:B (20:80, v/v); 8:11 min, A:B (35:65, v/v); 11-14 min, A:B (40:60, v/v); 14-21 min, A:B (2:98, v/v); 21-25 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 $^{\circ}$ C; volume de injeção = 3 μ L, comprimento de onda = 360 nm.

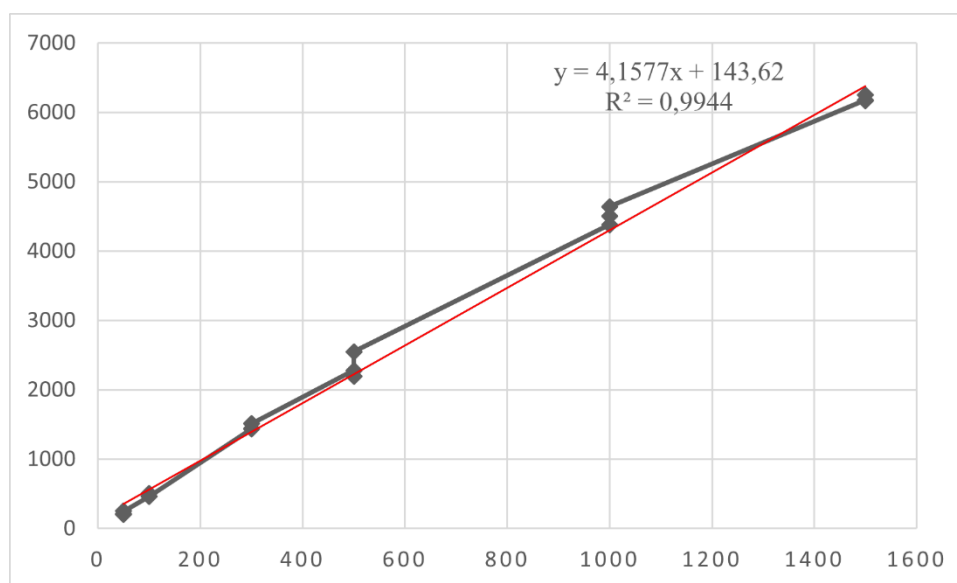
Figura 22. Cromatograma e espectro de absorção na região UV-Vis da rutina na amostra BA (*H. speciosa* var. *pubescens*).



Condições cromatográficas: coluna C18 (4.6x100 mm 2.7 μ m); eluição em gradiente - solvente A (acetonitrila) e B (solução aquosa de ácido acético a 0,2%): 0-5 min, A:B (5:95, v/v); 5-8min, A:B (20:80, v/v); 8:11 min, A:B (35:65, v/v); 11-14 min, A:B (40:60, v/v); 14-21 min, A:B (2:98, v/v); 21-25 min, A:B (5:95, v/v). Fluxo da fase móvel = 1,0 mL/min; temperatura da coluna = 30 $^{\circ}$ C; volume de injeção = 3 μ L, comprimento de onda = 360 nm.

A análise de regressão linear para os dados da curva analítica gerou a seguinte equação: $y = 4,1577x + 143,62$ (Figura 23). Os valores dos coeficientes de correlação (R) e determinação (R^2) foram 0,9972 e 0,9944, respectivamente. A normalidade e a homocedasticidade dos dados foram confirmadas pelos testes Anderson-Darling ($p=0,16$) e Cochran ($p=0,055$), respectivamente. Esses dados confirmam a capacidade do método de fornecer respostas analíticas diretamente proporcionais à concentração da substância de interesse (Brasil, 2017). A Tabela 5 apresenta as concentrações de rutina nas amostras. Os valores médios dos teores de rutina no material vegetal dos grupos foram comparados utilizando o teste t de Student, adotando-se nível de significância de $p < 0,05$. Houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos analisados ($p < 0,05$), evidenciando a variabilidade intraespecífica de cada variedade, com exceção de *H. speciosa* var. *pubescens*, conforme demonstrado na Tabela 5.

Figura 23. Curva de calibração da substância química de referência Rutina no intervalo de concentração de 50 a 1500 $\mu\text{g/mL}$.



Na equação de regressão $y = ax + b$, y se refere à área do pico, x a concentração do flavonoide de referência ($\mu\text{g/mL}$), r^2 o coeficiente de determinação.

Tabela 5. Dados da curva analítica da SQR e das concentrações de rutina nas amostras CHA, CAC, JAL, ALE e BA.

Concentração de Rutina (SQR) ($\mu\text{g/mL}$)	Área	TR
1500	6198,07 \pm 42,91	11,42
1000	4507,22 \pm 130,25	11,42
500	2340,87 \pm 184,59	11,43

		300		1461,77 ± 44,55	11,42
		100		475,92 ± 26,99	11,42
		50		220,58 ± 24,64	11,41
Variedades		Concentração de Rutina nas amostras	Teor (%) de rutina no material vegetal seco*	Área	TR
CHA1	<i>H. speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i>	355,21 ± 22,83	0,36 b	1620,44 ± 94,31	11,41
CHA2		1169,51 ± 45,79	1,15 a	5005,96 ± 190,08	11,40
CHA3		508,45 ± 50,67	0,50 c	2257,57 ± 210,71	11,40
CAC1	<i>H. speciosa</i> var. <i>gardineri</i>	620,95 ± 58,15	0,59 a	2725,29 ± 241,78	11,41
CAC2		180,19 ± 21,12	0,17 b	892,77 ± 87,76	11,41
CAC3		545,65 ± 55,92	0,52 a	2412,23 ± 232,48	11,41
JAL1	<i>H. speciosa</i> var. <i>speciosa</i>	786,99 ± 59,67	0,77 b	3415,65 ± 248,09	11,41
JAL2		227,11 ± 7,90	0,23 c	1087,85 ± 32,86	11,42
JAL3		1271,93 ± 4,63	1,27 a	5431,80 ± 19,23	11,41
ALE	<i>H. speciosa</i>	243,14 ± 11,19	0,24 a	1154,51 ± 46,55	11,41
BA	var. <i>pubescens</i>	170,34 ± 61,29	0,15 a	851,83 ± 254,80	11,41

TR: tempo de retenção. *Adotou-se como critério de significância estatística o valor de $p < 0,05$.

As concentrações de rutina nas amostras CHA oscilaram entre 355,21 µg/mL (CHA1) e 1169,51 µg/mL (CHA2), indicando variações intrínsecas da variedade *H. speciosa* var. *cuyabensis*. Isso sugere que a variedade *H. speciosa* var. *cuyabensis* pode ter uma resposta diferenciada a fatores ambientais, como a luz, temperatura e disponibilidade de nutrientes no solo, que influenciam a biossíntese de rutina (Carbone *et al.*, 2009; Hussain & Reigosa, 2016; Brunetti *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2018; Le *et al.*, 2023; Wu *et al.*, 2023). Comparando com as amostras CAC, a concentração de rutina foi diferente, com valores variando de 180,19 µg/mL (CAC2) a 620,95 µg/mL (CAC1), o que pode indicar uma diferença genética entre as variedades de *H. speciosa* var. *cuyabensis* e *H. speciosa* var. *gardineri* que pode resultar na produção variada desse flavonoide. Por outro lado, as amostras JAL demonstraram uma variação de concentração muito maior, com 786,99 µg/mL (JAL1) e 1271,93 µg/mL (JAL3), sugerindo que esta variedade (*H. speciosa* var. *speciosa*) é a mais eficiente na síntese de rutina, nas condições de cultivo no banco de germoplasma, possivelmente devido a um maior acúmulo de compostos bioativos em resposta aos estímulos ambientais ou a fatores genéticos. Em contraste, as

amostras ALE/BA (*H. speciosa* var. *pubescens*) apresentaram concentrações de rutina muito mais baixas em comparação às demais: 243,14 µg/mL para ALE e 170,34 µg/mL para BA, refletindo, possivelmente, uma resposta genética menos eficiente na biossíntese de rutina quando comparada às outras variedades.

A análise das concentrações de rutina nas amostras vegetais provenientes das diferentes variedades botânicas e de diferentes progênies revela uma grande variação nos níveis de rutina, o que pode ser atribuído a uma série de fatores, como genética e condições ambientais. Além disso, tecidos mais novos podem apresentar maior taxa biossintética de metabólitos (Hartmann, 1996), como os ácidos fenólicos (Koeppel *et al.*, 1970; Gobbo-Neto & Lopes, 2007; Ferrera *et al.*, 2016), óleos essenciais (Hall & Langenheim, 1986; Gershenzon, 1989; Dias *et al.*, 2024), alcaloides (Höft *et al.*, 1998) e flavonoides (Slimestad, 1998; Ferrera *et al.*, 2016). No caso das amostras CHA, CAC, JAL e ALE/BA, essas diferenças nas concentrações podem refletir nas variações genéticas presentes nas quatro variedades, visto que essas espécies foram coletadas do mesmo ambiente e cultivadas sobre as mesmas condições de clima e solo.

Essas variações nos níveis de rutina podem ser explicadas não só pela genética, mas também pelos diferentes mecanismos de regulação da biossíntese de flavonoides em plantas. A rutina, como um flavonoide com potentes propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, pode ser produzida em maior quantidade quando as plantas estão expostas a estresses ambientais, como excesso de radiação UV, seca ou presença de patógenos, que estimulam a produção de compostos bioativos como uma forma de defesa (Ferrera *et al.*, 2016; Brunetti *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2023).

Em um estudo comparativo entre diferentes regiões da Lituânia, Saunoriūtė e colaboradores (2025) identificaram 22 flavonols em *Amelanchier spicata* (Rosaceae), dentre eles a rutina. As variações encontradas pelos autores (1630,48 a 3264,67 µg/g DW) foi significativa e os fatores para tal variação foi determinado pelos autores como sendo provável exposição da planta à luz solar e condições nutricionais do solo. Além desse estudo, diversos outros estudos avaliaram a variação de rutina em variedades e linhagens de trigo (Kitabayashi *et al.*, 1995; Ohsawa & Tsutsumi, 1995; Raina & Gupta, 2015; Habtemariam, 2019) e as diferenças encontradas foram devido à exposição das espécies a radiação solar cumulativa.

A rutina é um flavonoide amplamente encontrado em plantas, desempenhando papéis fundamentais em mecanismos antioxidantes e de defesa contra estresses ambientais. Sua capacidade antioxidante resulta na neutralização de espécies reativas de oxigênio (ROS), protegendo tecidos vegetais contra danos oxidativos causados por condições adversas, como estresses abióticos e bióticos (Henneberg *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2024).

Estudos indicam que a rutina atua diretamente na proteção de estruturas celulares em plantas submetidas a seca e altas radiações UV, mantendo a funcionalidade fotossintética (Tsibizova, 2024). Em espécies como *Amelanchier spicata*, a rutina demonstrou alta atividade antioxidante, contribuindo para a defesa química da planta e aumentando sua adaptabilidade ecológica (Saunoriūtė *et al.*, 2025).

Através da cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS), Santos e colaboradores (2016) também identificaram rutina no extrato etanólico de folhas de *H. speciosa*, além de terem investigado a atividade antioxidante, antimicrobiana e citotóxica do mesmo extrato. Torres-Rêgo e colaboradores (2016), em uma investigação sobre atividade anti-inflamatória do extrato aquoso dos frutos, utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-DAD) e cromatografia líquida acoplada com espectrometria de massas (LC-MS), identificaram a rutina e o ácido clorogênico como os principais metabólitos secundários, além disso, observaram que a rutina inibiu significativamente o edema de ouvido induzido por xilol em camundongos. Também para folhas de *H. speciosa*, Barbosa e colaboradores (2019), realizaram um estudo de otimização de extração sequencial de líquido pressurizado e observaram que o extrato de acetato de etila fracionado a 60 °C, apresentou aumento na quantidade de rutina ($16,6 \pm 0,3$ mg/mL de extrato) quando comparado com as outras frações e temperaturas. Apesar da quantidade de estudos realizados que identificaram rutina nas amostras vegetais de *H. speciosa*, em nenhum dos trabalhos os autores identificaram a nível de variedade.

As análises cromatográficas, desempenham um papel importante no controle de qualidade de espécies vegetais utilizadas em estudos farmacológicos. Essas técnicas possibilitam a identificação e quantificação precisa de compostos bioativos, como a rutina, garantindo a padronização e a consistência dos extratos vegetais. Esse controle é fundamental para assegurar a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados em pesquisas e para o desenvolvimento de medicamentos fitoterápicos que atendam aos critérios de segurança e eficácia. Além disso, as análises permitem monitorar variações químicas decorrentes de fatores ambientais, genéticos ou relacionados ao processamento, o que é essencial para a caracterização detalhada das matérias-primas vegetais.

Os estudos cromatográficos também possuem relevância para a quimiotaxonomia vegetal, ao fornecer informações sobre a composição química específica de espécies e gêneros. A identificação de metabólitos secundários, como a rutina em *Hancornia speciosa*, pode atuar como um marcador químico, auxiliando na diferenciação entre táxons e contribuindo para a classificação botânica. Essas informações químicas complementam os dados morfológicos e moleculares, promovendo uma compreensão mais abrangente das relações filogenéticas e da

diversidade química entre espécies. Assim, a aplicação de métodos cromatográficos fortalece tanto os estudos farmacológicos quanto as investigações sistemáticas em botânica.

2.4. REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. M. *et al.* Separation of antibacterial biocompounds from *Hancornia speciosa* leaves by a sequential process of pressurized liquid extraction. **Separation and Purification Technology**, v. 222, p. 390–395, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.04.022>
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 166, de 24 de julho de 2017. **Guia para validação de métodos analíticos**. Brasília, DF, 2017.
- BRUNETTI, C. *et al.* Modulation of phytohormone signaling: a primary function of flavonoids in plant–environment interactions. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1042, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01042>
- CARBONE, F. *et al.* Developmental, genetic and environmental factors affect the expression of flavonoid genes, enzymes and metabolites in strawberry fruits. **Plant, Cell & Environment**, v. 32, n. 8, p. 1117–1131, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01994.x>
- DIAS, A. L. B. *et al.* Óleo essencial das folhas de *Psidium myrtilloides* O. Berg: teor e histoquímica das estruturas secretoras. In: **Ciências Agrárias: Tecnologia, Sustentabilidade e Inovação**, v. 2, p. 104–113, 2024. Editora Científica Digital.
- FERRERA, T. S. *et al.* Phenolic substances, flavonoids, and antioxidant capacity in herbs under different soil covers and shadings. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, p. 588–596, 2016. https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_197
- FLORES, I. S. *et al.* HR-MAS NMR allied to chemometric on *Hancornia speciosa* varieties differentiation. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, p. 708–714, 2018. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170191>
- GELLER, F. C., TEIXEIRA, M. R., PEREIRA, A. B. D., DOURADO, L. P. A., SOUZA, D. G., BRAGA, F. C., & SIMÕES, C. M. O. Evaluation of the wound healing properties of *Hancornia speciosa* leaves. **Phytotherapy Research**, v. 29, n. 12, p. 1887–1893, 2015. <https://doi.org/10.1002/ptr.5438>
- GERSHENZON, J.; MAFFEI, M.; CROTEAU, R. Biochemical and histochemical localization of monoterpene biosynthesis in the glandular trichomes of spearmint (*Mentha spicata*). **Plant Physiology**, v. 89, n. 4, p. 1351–1357, 1989. <https://doi.org/10.1104/pp.89.4.1351>
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Medicinal plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. **Química Nova**, v. 30, p. 374–381, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>
- GUIRADO, O. A. A.; CUÉLLAR, A. C. Strategies for the selection of medicinal plants to be studied. **Rev Cubana Plant Med**, v. 13, n. 3, s.p., 2008.

- HABTEMARIAM, S. Antioxidant and rutin content analysis of leaves of the common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grown in the United Kingdom: a case study. **Antioxidants**, v. 8, n. 6, p. 160, 2019. <https://doi.org/10.3390/antiox8060160>
- HALL, G. D.; LANGENHEIM, J. H. Temporal changes in the leaf monoterpenes of *Sequoia sempervirens*. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 14, n. 1, p. 61–69, 1986. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(86\)90086-4](https://doi.org/10.1016/0305-1978(86)90086-4)
- HARBORNE, J. B. Nature, distribution and function of plant flavonoids. **Progress in Clinical and Biological Research**, v. 213, p. 15–24, 1986.
- HARTMANN, T. Diversity and variability of plant secondary metabolism: a mechanistic view. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 80, n. 1, p. 177–188, 1996. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1996.tb00914.x>
- HENNEBERG, R. *et al.* Protective effect of flavonoids against reactive oxygen species production in sickle cell anemia patients treated with hydroxyurea. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 35, p. 52–55, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167531>
- HERNANDEZ-LEON, A.; GONZÁLEZ-TRUJANO, M. E.; FERNÁNDEZ-GUASTI, A. The anxiolytic-like effect of rutin in rats involves GABAA receptors in the basolateral amygdala. **Behavioral Pharmacology**, v. 28, n. 4, p. 303–312, 2017.
- HÖFT, M.; VERPOORTE, R.; BECK, E. Leaf alkaloid contents of *Tabernaemontana pachysiphon* as influenced by endogenous and environmental factors in the natural habitat. **Planta Medica**, v. 64, n. 2, p. 148–152, 1998. <https://doi.org/10.1055/s-2006-957393>
- HOSSEINZADEH, H.; NASSIRI-ASL, M. Review of the protective effects of rutin on the metabolic function as an important dietary flavonoid. **Journal of Endocrinological Investigation**, v. 37, p. 783–788, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40618-014-0096-3>
- HUSSAIN, M. I.; REIGOSA, M. J. Plant secondary metabolite rutin affects the photosynthesis and excitation energy flux responses in *Arabidopsis thaliana*. **Allelopath. Journal**, v. 38, p. 215–228, 2016.
- KITABAYASHI, H. *et al.* On the genotypic differences for rutin content in Tartary buckwheat, *Fagopyrum tataricum* Gaertn. **Japanese Journal of Breeding**, v. 45, n. 2, p. 189–194, 1995. <https://doi.org/10.1270/jsbbs1951.45.189>
- KOEPPE, D. E. *et al.* The effect of age and chilling temperature on the concentration of scopolin and caffeoylquinic acids in tobacco. **Physiologia Plantarum**, v. 23, n. 2, p. 258–266, 1970. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1970.tb06415.x>
- LE, N. T. *et al.* Green solvents-based rutin extraction from *Sophora japonica* L. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 36, p. 100508, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2023.100508>
- LEE, G. B. *et al.* Anti-inflammatory effects of quercetin, rutin, and troxerutin result from the inhibition of NO production and the reduction of COX-2 levels in RAW 264.7 cells treated with LPS. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 196, p. 8431–8452, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12010-024-05003-4>

LEITE, S. P., ADAMI, T. B., BJERK, T. R., SOUZA, M. R., CARDOSO, C. A. L., KRAUSE, L. C., & CARAMÃO, E. B. Ultrasonic assisted extraction of bioactive compounds from different parts of *Hancornia Speciosa* Gomes. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 14, n. 7, p. 300-308, 2020. <https://doi.org/10.5897/JMPR2020.6944>

LEMOES, Bruno Pereira. **Potencial anticâncer da flora do Cerrado: revisão Integrativa, identificação de compostos Fenólicos e estudo quimiopreventivo *in Silico* das folhas de *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Goiás. Goiás, 2023.

MACHADO, Caroline de Araújo et al. Antioxidant Activity, Rutin Content and Genetic Similarity Between Matrices and Progenies of *Hancornia speciosa*. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 9, p. 344-344, 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p344>

OHSAWA, R.; TSUTSUMI, T. Improvement of rutin content in buckwheat flour. **Current Advances in Buckwheat Research**, v. 1, p. 365–372, 1995.

OOMAH, B. D.; MAZZA, G. Flavonoids and antioxidative activities in buckwheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 7, p. 1746–1750, 1996.

RAINA, A. P.; GUPTA, V. Evaluation of buckwheat (*Fagopyrum* species) germplasm for rutin content in seeds. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 20, p. 167–171, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0147-6>

RAMALHO, C. E. L. *et al.* Genotoxicity and maternal-fetal safety of the dried extract of leaves of *Azadirachta indica* A. Juss (Meliaceae) in Wistar rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 310, p. 116403, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116403>

RODRIGUES, A. J. L. **Desenvolvimento de marcadores microssatélites e estrutura genética de *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae)**. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

ROJAS-MARQUEZ, Focion A.; AMARO-LUIS, Juan M. Chemotaxonomic contributions to current status of Caprifoliaceae. **Avances en Ciencias e Ingenieria**, v. 6, n. 3, p. 25-44, 2015.

SAMMANI, M. S. *et al.* 3D printed structure coated with C18 particles in an online flow system coupled to HPLC-DAD for the determination of flavonoids in citrus external peel. **Microchemical Journal**, v. 168, p. 106421, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106421>

SANTOS, U. P. *et al.* Antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties as well as the phenolic content of the extract from *Hancornia speciosa* Gomes. **PLoS One**, v. 11, n. 12, e0167531, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167531>

SAUNORIŪTĖ, S. *et al.* Comparative Analysis of Phenolic Profiles and Antioxidant Activity in the Leaves of Invasive *Amelanchier × spicata* (Lam.) K. Koch in Lithuania. **Plants**, v. 14, n. 2, p. 221, 2025. <https://doi.org/10.3390/plants14020221>

SLIMESTAD, R. Amount of flavonols and stilbenes during needle development of *Picea abies*; variations between provenances. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 26, n. 2, p. 225–238, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(97\)00099-9](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(97)00099-9)

SU, J. *et al.* Simultaneous analysis of flavonoids from *Hypericum japonicum* Thunb. ex Murray (Hypericaceae) by HPLC-DAD–ESI/MS. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 46, n. 2, p. 342–348, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2007.10.032>

THOMSON, C.; BLOCH, A.; HASLER, C. M. Position of the American Dietetic Society: functional foods. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 99, p. 1280–1281, 1999.

TIBERTI, L. A. *et al.* On-line LC/UV/MS analysis of flavonols in the three apple varieties most widely cultivated in Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, p. 100–105, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532007000100011>

TORRES-RÊGO, M. *et al.* Anti-inflammatory activity of aqueous extract and bioactive compounds identified from the fruits of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae). **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 16, p. 1–10, 2016. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1259-x>

TSIBIZOVA, A. A.; BIRYUKOVA, E. N.; SERGALIEVA, M. U. Antioxidant activity of *Rubus caesius* leaves extracts. **Scientific Notes of CFUV**, v. 10, n. 4, p. 230–238, 2024. <https://doi.org/10.29039/2413-1725-2024-10-4-230-238>

WU, J. *et al.* Advances in the study of the function and mechanism of the action of flavonoids in plants under environmental stresses. **Planta**, v. 257, n. 6, p. 108, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04136-w>

YANG, H. *et al.* Rutin Attenuates Gentamycin-induced Hair Cell Injury in the Zebrafish Lateral Line via Suppressing STAT1. **Molecular Neurobiology**, v. 61, p. 9548–9561, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12035-024-04179-4>

YANG, L. *et al.* Response of plant secondary metabolites to environmental factors. **Molecules**, v. 23, n. 4, p. 762, 2018. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO E POTENCIAL PEDAGÓGICO DO *E-BOOK* 'MANGABA: UMA JOIA DO CERRADO' NA VALORIZAÇÃO DO BIOMA

RESUMO

A educação ambiental, conforme estabelecido pela Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), desempenha um papel essencial na formação de sujeitos críticos e comprometidos com a sustentabilidade, especialmente frente à crise ecológica atual e à crescente desconexão entre a população urbana e os biomas nativos. Este estudo propôs o desenvolvimento de um *e-book* educativo, intitulado *Mangaba: uma joia do Cerrado*, como ferramenta pedagógica voltada à valorização do bioma Cerrado e da espécie nativa *Hancornia speciosa*. O *e-book* foi elaborado com base em levantamento bibliográfico sobre a biodiversidade do Cerrado, saberes tradicionais e uso cultural da mangabeira, assim como os resultados dos capítulos I e II desta dissertação. A estrutura foi organizada com linguagem acessível, imagens ilustrativas, receitas e atividades interativas, visando alunos dos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio. A proposta de aplicação envolve metodologias ativas, oficinas, rodas de conversa e avaliação formativa por meio de questionários e projetos. Os materiais digitais como *e-books* favorecem a integração entre conhecimento científico e tradicional, ampliam o acesso à informação e fortalecem o pertencimento ecológico. Conclui-se que a cartilha digital tem alto potencial como recurso didático interdisciplinar e inclusivo, contribuindo para a educação ambiental crítica e para a valorização do Cerrado junto às novas gerações.

Palavras-chave: E-book, educação ambiental, mangaba.

ABSTRACT

Environmental education, as established by Brazil's National Environmental Education Policy (Law No. 9.795/1999), plays a key role in shaping critical and sustainability-oriented individuals, especially in light of the current ecological crisis and the increasing disconnection between urban populations and native biomes. This study proposed the development of an educational e-book titled *Mangaba: a Jewel of the Cerrado*, designed as a pedagogical tool to promote the Cerrado biome and the native species *Hancornia speciosa*. The e-book was developed based on a bibliographic review covering Cerrado biodiversity, traditional knowledge, and the cultural uses of the mangaba tree, as well as the findings from Chapters I and II of this dissertation. The structure features accessible language, illustrative images, recipes, and interactive activities, targeting students in the final years of elementary and secondary education. The proposed implementation includes active learning strategies, workshops, discussion circles, and formative evaluation through questionnaires and student-led projects. Digital materials such as e-books facilitate the integration of scientific and traditional knowledge, broaden access to information, and strengthen ecological belonging. It is concluded that the digital booklet has strong potential as an interdisciplinary and inclusive educational resource, contributing to critical environmental education and enhancing the appreciation of the Cerrado among new generations.

Keywords: E-book, Environmental education, mangaba.

3.1. INTRODUÇÃO

A educação ambiental é fundamental para formar indivíduos conscientes, críticos e comprometidos com os desafios socioambientais da atualidade. Conforme estabelece a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) (Lei nº 9.795/1999), trata-se de um processo contínuo e integrado, que deve estar presente em todos os níveis e modalidades de ensino, com foco na construção de valores, conhecimentos e atitudes voltados para a sustentabilidade e a cidadania ecológica. Diante do cenário atual, marcado pelas mudanças climáticas intensificadas, perda acelerada da biodiversidade e avanço da desinformação sobre questões ambientais, a educação ambiental ganha ainda mais relevância e se torna uma ferramenta estratégica (Kopnina, 2020; Goldman *et al.*, 2020).

Este trabalho tem como foco o bioma Cerrado, que ocupa cerca de 22% do território brasileiro e é considerado uma das savanas tropicais mais ricas em biodiversidade do planeta (Myers *et al.*, 2000; Mendonça *et al.*, 2008; Fernandes *et al.*, 2016). O Cerrado abriga inúmeras espécies endêmicas de fauna e flora, além de ser essencial na regulação dos recursos hídricos da América do Sul (Bizerril, 2003; Martelli; Alvarenga & Samudio, 2023). No entanto, mesmo com sua importância ecológica e os serviços ecossistêmicos que oferece, o Cerrado é hoje o bioma brasileiro mais ameaçado (Agoramoorthy, 2002; De Marco *et al.*, 2020). O crescimento do agronegócio, o desmatamento ilegal e a fragmentação dos habitats têm provocado uma significativa redução da vegetação nativa (Soares-Filho *et al.*, 2014; Rajão *et al.*, 2020; Pompeu; Assis; & Ometto, 2024). Nesse contexto de vulnerabilidade, é essencial levar o conhecimento sobre o Cerrado às novas gerações, especialmente em áreas urbanas onde a conexão com os biomas nativos vem diminuindo (McKinney, 2006; Iared, Oliveira & Reid, 2017).

Uma estratégia pedagógica que pode se tornar eficaz é destacar espécies simbólicas do Cerrado. A mangaba (*Hancornia speciosa*), por exemplo, é um fruto nativo amplamente distribuído no bioma, que além de sua importância ecológica, possui um valor cultural, histórico e socioeconômico significativo para comunidades tradicionais e extrativistas (Oliveira & Aloufa, 2021). Por sua representatividade, a mangaba pode trazer grande potencial educativo, especialmente quando utilizada como tema central em projetos de educação ambiental que promovam o conhecimento local, a biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais.

A abordagem de temáticas locais no currículo escolar, como a fauna, flora e cultura do Cerrado, tem demonstrado ser eficaz no fortalecimento do sentimento de pertencimento e na valorização dos saberes regionais (Lopes *et al.*, 2020; Alves, 2020). Para isso, o uso de materiais didáticos acessíveis e interativos, como *e-books* e cartilhas digitais, tem se destacado. Esses

recursos digitais democratizam o acesso ao conhecimento e permitem a criação de propostas pedagógicas mais envolventes e alinhadas à realidade dos estudantes (Fauville; Lantz-Andersson; & Säljö, 2013). A literatura também destaca que materiais digitais são eficazes na integração de conhecimentos científicos e tradicionais, especialmente em contextos de diversidade biocultural como o Cerrado (Hanazaki et al., 2018; Bermudez; Pérez Mesa; & Ottogalli, 2022; Rollo, 2025).

Com isso, o objetivo deste capítulo, foi desenvolver o *e-book* 'Mangaba uma joia do Cerrado', elaborado como um recurso pedagógico oriundo dos capítulos desta dissertação. O objetivo é promover uma educação ambiental crítica e interdisciplinar voltada aos anos finais do ensino fundamental e ao ensino médio, sensibilizando os estudantes para a importância ecológica e cultural do Cerrado, com a mangaba como elemento central. O material foi elaborado para ser acessível, interativo e contextualizado, aproximando os estudantes da realidade ecológica local e incentivando o sentimento de pertencimento e a responsabilidade socioambiental.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Fase de Pesquisa: Levantamento Bibliográfico e Conteúdo

O desenvolvimento do *e-book* iniciou com um levantamento bibliográfico sobre o Cerrado, a mangabeira (*Hancornia speciosa*) e suas variações regionais. A pesquisa incluiu estudos sobre a biodiversidade do Cerrado, com foco nas espécies nativas e ameaçadas, e na importância da mangabeira para a conservação do bioma. Foram utilizados documentos acadêmicos e artigos de especialistas, como a "Cultura da Mangabeira" de Vieira Neto (1994) e estudos sobre o Cerrado, como os de Ribeiro e Walter (1998) e Sano et al. (2010), que discutem as fitofisionomias do bioma e a distribuição das espécies.

3.2.2. Elaboração do Conteúdo: Linguagem, Imagens e Estrutura Pedagógica

A escolha da linguagem foi voltada para alunos dos anos finais do ensino fundamental e médio, com termos simples e explicações claras sobre a biodiversidade e os processos ecológicos do Cerrado. As imagens foram escolhidas para ilustrar as características das mangabeiras e suas variedades, bem como a flora e fauna do Cerrado. O conteúdo visual, como as ilustrações, visa facilitar o entendimento e despertar o interesse dos alunos. A estrutura pedagógica seguiu uma abordagem de aprendizagem ativa, com conteúdo interativo que inclui

atividades como caça-palavras e cruzadinhas, além de receitas culinárias que incentivam a utilização da mangaba.

3.2.3. *Design e Acessibilidade*

O formato digital do e-book foi escolhido para facilitar o acesso remoto e a interação dos alunos com o conteúdo, utilizando plataformas acessíveis em dispositivos móveis e computadores. A estrutura do *e-book* foi desenhada para ser intuitiva e envolvente. Para garantir a acessibilidade, consideraram-se as especificidades de diferentes plataformas, como a inclusão de textos em tamanhos ajustáveis e contrastes adequados para facilitar a leitura.

3.2.4. *Aplicação do E-book: Proposta de Implementação e Plano de Avaliação*

A proposta de aplicação do *e-book* visa introduzir os alunos ao bioma Cerrado e à mangabeira (*Hancornia speciosa*), por meio de metodologias ativas que promovam a interação, o aprendizado contextualizado e a conscientização ambiental.

3.2.4.1. *Onde aplicar*

O *e-book* poderá ser utilizado em escolas de regiões que possuam proximidade com o Cerrado, no contexto do ensino fundamental e médio. Os alunos poderão ser divididos em grupos. Será importante adaptar as atividades conforme o nível de conhecimento dos estudantes sobre o bioma Cerrado, começando com conceitos mais simples e gradualmente avançando para discussões mais profundas sobre conservação e sustentabilidade.

3.2.4.2. *Estratégias de Aplicação do E-book:*

Aulas Teóricas: O *e-book* pode ser apresentado como parte de uma aula teórica, na qual os professores irão explicar os principais pontos do bioma Cerrado, as características da mangabeira e suas variações, e a importância da preservação ambiental. Os alunos poderão ler e discutir o conteúdo do *e-book* em sala de aula, com apoio de imagens e atividades interativas.

Oficinas Práticas e Atividades Interativas: Além da leitura, pode ser proposto que os alunos participem de oficinas para criar materiais de divulgação sobre a mangabeira e o Cerrado. Essas oficinas poderão incluir atividades como a criação de cartazes, apresentação de projetos de preservação e até mesmo pequenas exposições na escola.

Rodas de Conversa e Discussões em Grupo: Após a leitura e o trabalho prático, os alunos poderão participar de rodas de conversa sobre a importância do Cerrado e como as espécies nativas, como a mangaba, estão ameaçadas. Será uma oportunidade para explorar

temas como sustentabilidade, mudanças climáticas e a interação entre seres humanos e a natureza.

Atividades Culinárias: Utilizando as receitas inclusas no *e-book*, como o "Bolo de Mangaba" ou "Suco de Mangaba", os alunos poderão experimentar a fruta e aprender sobre seu uso cultural e nutricional. Essa atividade também pode ser integrada com a disciplina de Ciências, para discutir os benefícios nutricionais da mangaba e sua importância para a saúde.

3.2.4.3. Métodos de Avaliação da Receptividade e Aprendizado:

Questionários de Avaliação: Ao final da aplicação do *e-book*, pode ser aplicado um questionário para avaliar o entendimento dos alunos sobre os temas abordados, como biodiversidade, conservação e as espécies do Cerrado. Esse questionário poderá incluir perguntas de múltipla escolha e questões abertas, permitindo uma análise qualitativa das respostas.

Observação e Feedback: Os professores e educadores irão acompanhar o desenvolvimento das atividades práticas e interativas, fornecendo *feedback* contínuo sobre o desempenho dos alunos. Isso poderá ser feito por meio de observação direta durante as rodas de conversa e atividades práticas.

Avaliação dos Projetos de Conservação: Os alunos serão incentivados a desenvolver projetos individuais ou em grupos, propondo ações de preservação para o Cerrado. Esses projetos poderão ser avaliados com base na criatividade, relevância e viabilidade das soluções apresentadas.

Plano de Avaliação:

Fase Inicial: A avaliação inicial será feita a partir do conhecimento prévio dos alunos sobre o Cerrado e sua biodiversidade. Será importante coletar informações sobre o nível de familiaridade dos estudantes com o bioma antes da aplicação do *e-book*.

Fase Final: Ao final do projeto, pode ser realizada uma avaliação final para verificar o aprendizado, o impacto do conteúdo no entendimento dos alunos sobre a conservação e os resultados das atividades práticas. Esta fase também incluirá a avaliação da receptividade do *e-book*, com base na opinião dos alunos e professores sobre a eficácia do material como ferramenta pedagógica.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A crescente urbanização tem promovido o que McKinney (2006) chama de "homogeneização biológica", onde espécies adaptáveis ao ambiente urbano, muitas vezes exóticas, dominam os espaços urbanos, substituindo as espécies nativas. Isso tem levado a uma perda de diversidade biológica local, com consequências tanto para os ecossistemas urbanos quanto para a percepção pública da importância da conservação (McKinney, 2006). A desconexão com os biomas nativos ocorre não só devido à expansão urbana, mas também pela falta de espaços verdes e pela escassez de áreas naturais preservadas, fatores que dificultam a educação ambiental de forma efetiva. Essa perda de percepção, leva uma desconexão do indivíduo com o ambiente em que ele está inserido.

O estudo de Awasthy, Popovic e Linklater (2012), enfatiza a importância de integrar a educação ambiental em ambientes urbanos, considerando que a falta de contato direto com a natureza diminui o conhecimento e o envolvimento dos cidadãos com a preservação ambiental. A pesquisa demonstra que, quando crianças de áreas urbanas têm a oportunidade de interagir com a natureza de forma prática, como por meio de experiências com aves ou plantas nativas, seu nível de conscientização ambiental aumenta consideravelmente (Awasthy; Popovic; & Linklater, 2012). Essa evidência reforça a necessidade de incorporar o contato com a natureza e os biomas nativos, como o Cerrado, na educação ambiental, proporcionando experiências que despertem o interesse e o entendimento dos alunos sobre os ecossistemas locais. Pensando nisso, a contextualização do Cerrado no e-book fez-se necessário para introduzir a espécie e dar pertencimento ao seu local de ocorrência (Fig. 1).

Figura 1. Caracterização do bioma Cerrado apresentado no e-book.



Através de ferramentas pedagógicas como *e-books*, os alunos podem ser expostos a um conhecimento dinâmico sobre o bioma, suas espécies e a importância da sua preservação. De acordo com Tarsitano (2018), programas de educação ambiental em espaços urbanos têm mostrado que o aprendizado sobre ecossistemas locais é crucial para engajar os cidadãos na conservação da biodiversidade urbana e natural.

A educação ambiental crítica, fundamentada nas ideias de Paulo Freire (2001), vai além da simples transmissão de conhecimento, buscando engajar os alunos como agentes de mudança ativa na sociedade (Ventura & Vasconcelos, 2021). Essa abordagem é essencial para formar cidadãos críticos, conscientes e participativos em relação às questões ambientais, como a crise climática e a perda de biodiversidade. A crítica à estrutura de poder e ao modelo de desenvolvimento atual, que prioriza interesses econômicos em detrimento da sustentabilidade, é um pilar dessa educação (Kopnina, 2020).

Kimmerer (2012) em seu trabalho, destaca como a integração do conhecimento ecológico tradicional (TEK) e o conhecimento científico (SEK) pode criar sinergias valiosas para o ensino de ciências ambientais. Ao incluir as abordagens indígenas de respeito à natureza e os métodos científicos contemporâneos, a educação ambiental se torna mais holística, permitindo que os alunos compreendam a interdependência entre cultura e ecologia. Quando

recursos digitais são utilizados para apresentar essas perspectivas, eles facilitam o acesso e a compreensão, promovendo uma aprendizagem que valoriza tanto os saberes locais quanto as descobertas científicas (Kimmerer, 2012).

Outro aspecto dos recursos digitais é a sua capacidade de integrar dados científicos e saberes tradicionais de maneira que promove um entendimento mais abrangente dos ecossistemas. Gratani e Butler (2010) discutem como a integração de diferentes sistemas de conhecimento, como o tradicional e o científico, é essencial para o manejo sustentável dos recursos naturais. Plataformas digitais podem facilitar essa integração ao fornecer aos estudantes ferramentas para explorar tanto as práticas tradicionais de manejo do Cerrado, quanto as pesquisas científicas sobre a biodiversidade e a conservação desse bioma.

Além disso, o uso de recursos digitais facilita a acessibilidade e a disseminação do conhecimento. Dvorak e Gapeeva (2020) argumentam que a integração de recursos digitais em bibliotecas e sistemas educacionais pode tornar o conhecimento ambiental mais acessível e interativo, permitindo uma aprendizagem mais eficaz e envolvente. No contexto brasileiro, onde muitas comunidades ainda têm acesso limitado a recursos educacionais, os *e-books* e outras ferramentas digitais podem facilitar o acesso ao conhecimento sobre o Cerrado, independentemente da localização.

A inserção de temáticas ambientais locais nos currículos escolares é uma estratégia essencial para tornar o ensino mais significativo, contextualizado e relevante para os estudantes. No caso do Cerrado e da mangaba (*Hancornia speciosa*), essa abordagem pode se mostrar bastante eficiente, dada a riqueza ecológica, cultural e socioeconômica da região, que muitas vezes é abstrata nas práticas pedagógicas. A pesquisa de Lopes *et al.* (2020) realizada em Sete Lagoas (MG), região do Cerrado, demonstra como a valorização de espécies nativas como a mangaba pode ampliar o conhecimento dos alunos sobre o bioma em que vivem. O estudo utilizou atividades lúdicas e interdisciplinares para apresentar frutos típicos pouco conhecidos, resultando em maior engajamento dos estudantes e um aumento significativo no nível de acertos de questionários após as intervenções. Isso reforça o argumento de que incluir conteúdos locais promove pertencimento, valorização da identidade regional e mobiliza os alunos como multiplicadores da conservação ambiental (Lopes *et al.*, 2020).

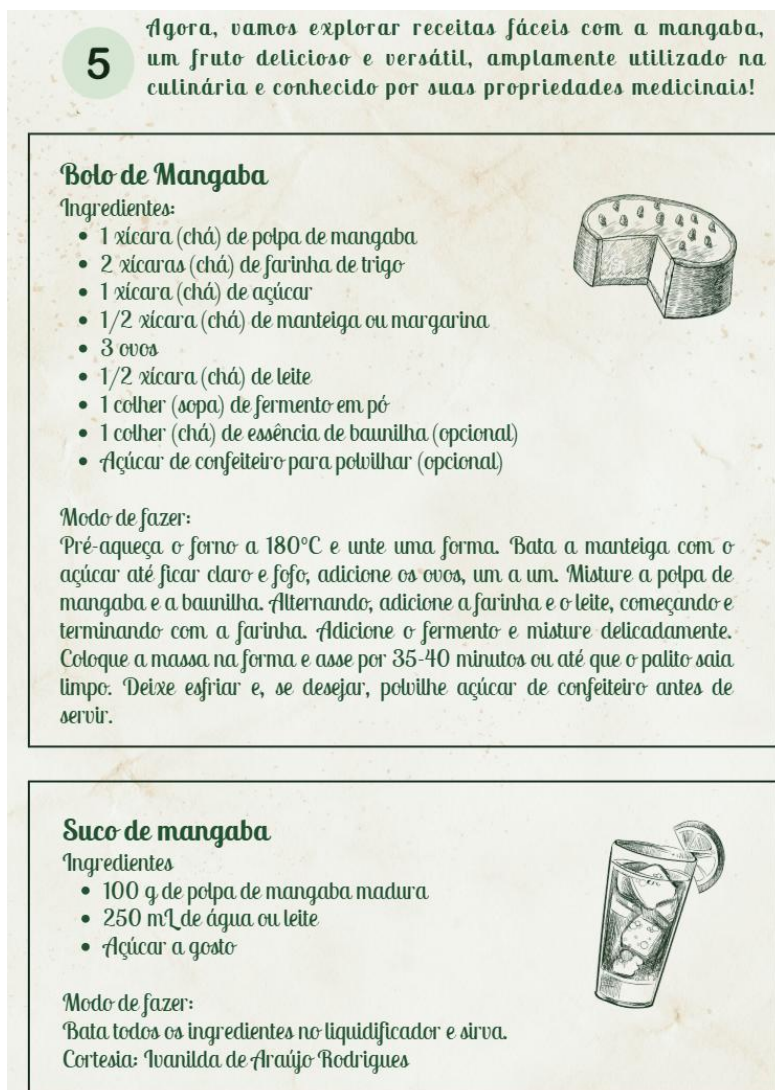
Iared, Oliveira e Reid (2017) destacam a importância de uma abordagem estética e sensível na educação ambiental no Cerrado. Os autores argumentam que a baixa valorização estética do bioma contribui para sua invisibilidade no imaginário popular e, por consequência, na educação (Iared; Oliveira; Reid, 2017). Incorporar experiências sensoriais e emocionais relacionadas ao Cerrado nos materiais didáticos, como *e-books*, pode fomentar uma nova forma

de perceber e valorizar o bioma, aproximando os estudantes da natureza e promovendo um envolvimento afetivo com o território em que vivem. A importância de alinhar as práticas educativas com os contextos locais também é destacada por Alves (2020), que propôs um roteiro de atividades experimentais articulando o ensino de ciências com temas ambientais locais. Essa abordagem permitiu não apenas a construção de conceitos científicos, mas também a reflexão, problematização e discussões sobre os problemas ambientais. Assim, promover o Cerrado e a mangaba como objetos de estudo possibilita articular conteúdos de Biologia, Geografia, Ciências e até mesmo Cultura e História local, respeitando os princípios da interdisciplinaridade e do currículo integrado.

Diante da relevância pedagógica e ecológica da inserção de temáticas locais no currículo escolar, como evidenciado pelas pesquisas sobre o Cerrado e a valorização de saberes regionais, apresenta-se aqui a cartilha digital sobre a mangaba (*Hancornia speciosa*) sob o título: Mangaba uma joia do Cerrado, como um recurso didático, acessível e alinhado às diretrizes da educação ambiental crítica. A cartilha foi desenvolvida com o objetivo de integrar o conhecimento científico — sobre a biodiversidade e a importância ecológica do bioma Cerrado — com os saberes tradicionais, culturais e alimentares associados à mangaba, estimulando o protagonismo estudantil e a valorização do território. Estruturada com linguagem acessível, ilustrações, receitas e atividades práticas, ela se propõe como um material interdisciplinar para uso nos anos finais do ensino fundamental e médio, promovendo uma aprendizagem contextualizada, crítica e sensível ao ambiente local.

Além de funcionar como recurso pedagógico, a cartilha digital "Mangaba: uma joia do Cerrado" possui grande potencial para ações de divulgação científica e popularização da ciência. A popularização da ciência é fundamental para aproximar o conhecimento científico da sociedade, promovendo a democratização da informação, o fortalecimento da educação formal e não formal e a formação cidadã crítica (Gu, 2022; Valério & Takata, 2025). Ao abordar de forma acessível e ilustrada os conhecimentos sobre o bioma Cerrado e a mangaba, o material facilita o diálogo entre a escola e a comunidade local, tornando temas científicos compreensíveis e presentes no cotidiano, como exemplo as receitas fornecidas no e-book (Fig. 2). A cartilha pode ser utilizada em feiras de ciências, eventos escolares, encontros comunitários e campanhas de valorização dos saberes e práticas tradicionais, permitindo que familiares, agricultores, agentes de saúde e outros membros da comunidade tenham acesso qualificado à informação científica de relevância regional. Esse processo amplia o impacto social do conhecimento produzido, estimula a curiosidade pela flora local e fortalece a identidade cultural das comunidades do Cerrado.

Figura 2. Receita do bolo de mangaba e suco de mangaba, fornecidas no e-book.



3.4. REFERÊNCIAS

AGORAMOORTHY, G. Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. *J Mammal*, v. 83, n. 2, p. 630–633, 2002.

ALVES, F. M. **Ensino de Ciências e Ambiente: proposta de um roteiro de atividades experimentais como instrumento de articulação**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências da Natureza) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/14958>. Acesso em: 02 mai. 2025.

AWASTHY, M.; POPOVIC, A. Z.; LINKLATER, W. L. Experience in local urban wildlife research enhances a conservation education programme with school children. *Pacific Conservation Biology*, v. 18, n. 1, p. 41-46, 2012. <https://doi.org/10.1071/PC120041>

BERMUDEZ, G. M. A.; PÉREZ MESA, R.; OTTOGALLI, M. E. Biodiversity knowledge and conceptions in Latin American: Towards an integrative new perspective for education

research and practice. **International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 175-217, 2022. <http://dx.doi.org/10.46328/ijemst.2105>

BIZERRIL, M. X. A. O Cerrado nos livros didáticos de geografia e ciências. **Ciência Hoje**, v. 32, n. 192, p. 56-60, 2003.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF: DOU de 28.4.1999.

CARDOSO, L. M. *et al.* Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) from the Brazilian Cerrado: nutritional value, carotenoids and antioxidant vitamins. **Fruits**, v. 69, p. 89-99, 2014. <https://doi.org/10.1051/fruits/2013105>

DE MARCO, P. *et al.* Vulnerability of Cerrado threatened mammals: an integrative landscape and climate modeling approach. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, p. 1637-1658, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1615-x>

FAUVILLE, G.; LANTZ-ANDERSSON, A.; SÄLJÖ, R. ICT tools in environmental education: reviewing two newcomers to schools. **Environmental Education Research**, v. 20, n. 2, p. 248-283, 2013. <https://doi.org/10.1080/13504622.2013.775220>

FERNANDES, G. W. *et al.* Cerrado - um bioma rico e ameaçado. In: PEIXOTO, A. L.; LUZ, J. R. P.; BRITO, M. A. (Eds.). **Conhecendo a Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2016. p. 68-83.

FREIRE, P. **Política e educação: ensaios**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2001.

GOLDMAN, D. *et al.* Education for Environmental Citizenship and Responsible Environmental Behaviour. In: HADJICHAMBIS, A.; REIS, P. (Org.). **Conceptualizing Environmental Citizenship for 21st Century Education**. Switzerland: Springer Nature, 2020. p. 115-138. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20249-1>

GRATANI, M.; BUTLER, J. Stepping out of our paradigm: a path for the integration of scientific and traditional ecological knowledge in natural resource management. In: **4th International traditional knowledge conference 2010**. Anais... New Zealand: SSRN, p. 115-118, 2010. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2781407>

GU, Ji-Dong. Popularization or population of science and the future. **Applied Environmental Biotechnology**, v. 7, n. 1, p. 1, 2022. <http://doi.org/10.26789/AEB.2022.01.001>

HANAZAKI, N. *et al.* Indigenous and traditional knowledge, sustainable harvest, and the long road ahead to reach the 2020 Global Strategy for Plant Conservation objectives. **Rodriguesia**, v. 69, n. 4, p. 1587-1601, 2018. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869409>

IARED, V. G.; OLIVEIRA, H. T. de; REID, A. Aesthetic experiences in the Cerrado (Brazilian savanna): contributions to environmental education practice and research. **Environmental Education Research**, v. 23, n. 9, p. 1273-1290, 2017. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1312290>

VENTURA, J. S. D. S. V.; VASCONCELOS, C. A. Projetos criativos ecoformadores: relações entre tecnologia e educação ambiental no ensino. **Revista Interações**, v. 17, n. 58, p. 117-142, 2021. <https://doi.org/10.25755/int.23701>

KIMMERER, R. W. Searching for synergy: integrating traditional and scientific ecological knowledge in environmental science education. **Journal of Environmental Studies and Sciences**, v. 2, p. 317-323, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13412-012-0091-y>

KOPNINA, H. Critical pedagogy and eco-pedagogy: discussing ethics and radical environmentalism at business school. **European Journal of Sustainable Development Research**, v. 4, n. 3, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.29333/ejosdr/7855>

LOPES, T. S. *et al.* Intervention in Sete Lagoas about the Cerrado biome. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 4, p. 71-75, 2020. <https://doi.org/10.36560/13420201041>

MARTELLI, A.; ALVARENGA, A. F. R.; SAMUDIO, E. M. M. Benefícios ecológicos do bioma Cerrado e particularidades do município de Itapira-SP localizada numa área de transição. **PhD Scientific Review**, v. 3, n. 1, p. 8-24, 2023. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7554701>

MCKINNEY, M. L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. **Biological Conservation**, v. 127, n. 3, p. 247-260, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>

MENDONÇA, R. C. *et al.* Flora vascular do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa, 2008. p. 1028-1059.

MYERS, N. *et al.* Pontos críticos de biodiversidade para prioridades de conservação. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, K. S.; ALOUFA, M. A. I. Knowledge, use, and management of mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) by extrativist communities on the coast of Rio Grande do Norte, Northeast Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, n. 2, p. 276-289, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-33062020abb0108>

POMPEU, J.; ASSIS, T. O.; OMETTO, J. P. Landscape changes in the Cerrado: challenges of land clearing, fragmentation and land tenure for biological conservation. **Science of The Total Environment**, v. 906, p. 167581, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167581>

RAJÃO, R. *et al.* The rotten apples of Brazil's agribusiness. **Science**, v. 369, n. 6501, p. 246-248, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aba6646>

ROLLO, M. F. Interconnected Nature and People: Biosphere Reserves and the Power of Memory and Oral Histories as Biocultural Heritage for a Sustainable Future. **Sustainability**, v. 17, n. 9, p. 4030, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17094030>

SOARES-FILHO, B. *et al.* Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>

TARSITANO, E. *et al.* Urban environmental education and sustainability in Lama Balice regional natural park. **International Journal for Research in Educational Studies**, v. 4, n. 10, p. 1-11, 2018. <https://hdl.handle.net/11586/397463>

VALÉRIO, Marcelo; TAKATA, Roberto. After all, what is science popularization? Explanation and a proposition of a plural concept. **Pro-Posições**, v. 36, p. e2025c0502BR, 2025. <https://doi.org/10.1590/1980-6248-2024-0047EN>

CONCLUSÃO GERAL

Os achados contribuem para a compreensão da diversidade intraespecífica de *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae), abordando sua caracterização morfoanatômica e química em quatro variedades (*H. speciosa* var. *speciosa*, *H. speciosa* var. *cuyabensis*, *H. speciosa* var. *gardneri* e *H. speciosa* var. *pubescens*). Os resultados obtidos reforçam a complexidade taxonômica da espécie e apontam para a relevância da integração de diferentes abordagens metodológicas na delimitação de variedades botânicas. Além de fornecer informações valiosas para a sistemática da espécie, este estudo tem implicações diretas no controle de qualidade de derivados vegetais e na seleção de genótipos com maior potencial bioativo e comercial.

No contexto morfoanatômico, as análises demonstraram diferenças marcantes entre as variedades, especialmente em caracteres foliares como filotaxia, presença de tricomas e organização estomática. A detecção de caracteres anatômicos distintivos, como a filotaxia verticilada exclusiva de *H. speciosa* var. *cuyabensis* e os tricomas tectores abundantes em *H. speciosa* var. *pubescens*, sugere que essas estruturas desempenham um papel crucial nas adaptações ecológicas da espécie ao ambiente do Cerrado. Essas diferenças reforçam a importância da anatomia vegetal como ferramenta diagnóstica na taxonomia, além de indicarem possíveis adaptações fisiológicas que impactam a produção de metabólitos secundários.

A análise fitoquímica, focada na quantificação da rutina, revelou uma variabilidade intraespecífica, evidenciando que diferentes variedades de *H. speciosa* possuem potenciais distintos para aplicações farmacêuticas e biotecnológicas. As maiores concentrações desse flavonoide foram encontradas em *H. speciosa* var. *speciosa* e *H. speciosa* var. *cuyabensis*, sugerindo um maior potencial antioxidante e anti-inflamatório nessas variedades, enquanto *H. speciosa* var. *pubescens* apresentou os menores teores do composto. Essa variabilidade química é um fator essencial para a padronização de extratos vegetais e para a garantia da eficácia de bioprodutos, ressaltando a necessidade de critérios rigorosos de controle de qualidade na produção de fitoterápicos e nutracêuticos derivados da mangabeira.

No que tange às implicações taxonômicas, os achados desta pesquisa corroboram a existência de diferenças fenotípicas relevantes entre as variedades, mas também destacam desafios na delimitação taxonômica de *H. speciosa*. Enquanto os dados morfoanatômicos e químicos sustentam a distinção entre as variedades descritas por Monachino (1945), as análises moleculares revisadas nesta dissertação indicam uma baixa divergência genética, sugerindo que algumas dessas variedades podem representar populações ecotípicas adaptadas a diferentes condições ambientais, em vez de linhagens evolutivamente separadas. Essa aparente

discrepância entre dados genéticos e fenotípicos reforça a necessidade de abordagens taxonômicas integrativas, combinando anatomia, química e genética para uma classificação mais robusta e funcional da espécie.

Do ponto de vista biotecnológico e de conservação, os resultados desta pesquisa fornecem subsídios para a valorização de *H. speciosa* e para sua exploração sustentável. A identificação de variedades com maior teor de rutina permite direcionar esforços para a seleção e cultivo de genótipos com maior potencial farmacológico, enquanto a caracterização morfoanatômica contribui para o estabelecimento de padrões de qualidade em matérias-primas vegetais. Além disso, os dados obtidos podem auxiliar na definição de estratégias de conservação genética da espécie, promovendo a manutenção da variabilidade intraespecífica e o uso sustentável da mangabeira em sistemas agroflorestais e cultivos comerciais.

Esta dissertação destaca a importância de abordagens multidisciplinares para a compreensão da biodiversidade vegetal e suas aplicações. A caracterização detalhada das variedades de *H. speciosa* reforça o papel da anatomia e da química na diferenciação taxonômica e no controle de qualidade de produtos naturais, além de ampliar o entendimento sobre a plasticidade fenotípica da espécie frente às pressões ambientais. Os achados apresentados fornecem uma base sólida para futuras pesquisas envolvendo a metabolômica, a genética e a biotecnologia da mangabeira, promovendo seu uso racional e incentivando sua preservação no Cerrado.

Estruturado com base em princípios da educação ambiental crítica e interdisciplinar, o material digital tem como foco a mangabeira e sua importância ecológica, cultural e econômica, sendo direcionado aos anos finais do ensino fundamental e ensino médio. Sua proposta pedagógica busca aproximar os estudantes da realidade ecológica local, promovendo a integração entre saberes científicos e tradicionais e estimulando o sentimento de pertencimento ao bioma Cerrado. A cartilha digital evidencia como recursos didáticos acessíveis e contextualizados podem potencializar práticas educativas mais inclusivas, sensíveis e transformadoras, reforçando o papel da educação como ferramenta estratégica para a conservação da biodiversidade e a formação de sujeitos ambientalmente responsáveis. Ao alinhar pesquisa científica com ações de sensibilização, este trabalho amplia seu alcance, contribuindo tanto para o conhecimento técnico da espécie *H. speciosa* quanto para sua valorização social e cultural junto às novas gerações.