

FARMACOBOTÂNICA NA CADEIA PRODUTIVA FARMACÊUTICA: PERSPECTIVAS E APLICAÇÕES PARA A AUTENTICAÇÃO E O CONTROLE DE QUALIDADE DE INSUMOS VEGETAIS

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6791226060113>

Raoul dos Santos Fernandes Muniz

Laboratório Farmácia da Terra, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia – Salvador – BA
<http://lattes.cnpq.br/6891557303862348>

Mayara Maia Soledade

Laboratório Farmácia da Terra, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia – Salvador – BA
<https://lattes.cnpq.br/0422503716644516>

Guilherme Matheus de Brito Galvão

Laboratório Farmácia da Terra, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia – Salvador – BA
<https://lattes.cnpq.br/1472251993995419>

Letícia Barbosa Silva

Laboratório Farmácia da Terra, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia – Salvador – BA
<http://lattes.cnpq.br/5272524831883927>

Phillipe Barreto de Almeida

Laboratório Farmácia da Terra, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia – Salvador – BA
<https://lattes.cnpq.br/6628995543201910>

Dannily Augusto Rebouças

Laboratório Farmácia da Terra, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia – Salvador – BA
<http://lattes.cnpq.br/4408029953764841>

Ygor Jessé Ramos

Laboratório Farmácia da Terra, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal da Bahia – Salvador – BA
<http://lattes.cnpq.br/3271824948370332>

RESUMO: Este estudo tem por objetivo apresentar a Farmacobotânica como eixo estratégico da cadeia farmacêutica baseada em plantas, evidenciando como seus métodos sustentam autenticação, rastreabilidade e controle de qualidade de insumos e produtos. Articula revisão histórica-regulatória e síntese técnico-científica, cobrindo taxonomia e sistemática; análises macroscópicas e microscópicas, histoquímica clássica e perfis cromatográficos. Integra abordagens contemporâneas, como o DNA *barcoding/metabarcoding*, CL-EMAR, mobilidade iônica, imageamento por massas (MALDI-MSI) e quimiometria, em consonância com compêndios oficiais e normas brasileira. Reafirma-se a Farmacobotânica como disciplina basilar para identificar e autenticar drogas vegetais, inclusive em materiais fragmentados ou pulverizados. A combinação de caracteres macro e micromorfológicos com ensaios histoquímicos e perfis cromatográficos mitiga adulterações, padroniza matérias-primas e sustenta especificações reprodutíveis. Em perspectiva internacional, a convergência entre morfologia, química de alta resolução e genômica amplia a detecção de quimiotipos, a comprovação de origem e a padronização de requisitos. Conclui-se que a Farmacobotânica constitui plataforma metrológica e normativa indispensável à inovação responsável e à tomada de decisões sanitárias, fortalecendo cadeias de suprimento e alinhando a indústria às melhores práticas científico-regulatórias.

PALAVRAS-CHAVE: Plantas medicinais; Farmacobotânica; Controle de qualidade; Autenticação; Rastreabilidade.

PHARMACOBOTANY IN THE PHARMACEUTICAL SUPPLY CHAIN: PERSPECTIVES AND APPLICATIONS FOR THE AUTHENTICATION AND QUALITY CONTROL OF PLANT-BASED RAW MATERIALS

ABSTRACT: This study aims to present Pharmacobotany as a strategic axis of the plant-based pharmaceutical value chain, demonstrating how its methods support the authentication, traceability, and quality control of raw materials and finished products. It combines a historical-regulatory review with a technical-scientific synthesis, covering taxonomy and systematics; macroscopic and microscopic analyses, classical histochemistry, and chromatographic profiles. It integrates contemporary approaches such as DNA barcoding/metabarcoding, LC-HRMS, ion mobility, mass spectrometry imaging (MALDI-MSI), and chemometrics, in alignment with official compendia and Brazilian standards. Pharmacobotany is reaffirmed as a foundational discipline for identifying and authenticating herbal drugs, including fragmented or powdered materials. The combination of macro- and micromorphological characters with histochemical assays and chromatographic profiles mitigates adulteration,

standardizes raw materials, and underpins reproducible specifications. From an international perspective, the convergence of morphology, high-resolution chemistry, and genomics broadens the detection of chemotypes, substantiates verification of provenance, and advances the standardization of requirements. It is concluded that Pharmacobotany constitutes a metrological and regulatory platform indispensable to responsible innovation and health-regulatory decision-making, strengthening supply chains and aligning industry with scientific-regulatory best practices.

KEYWORD: Medicinal plants; Pharmacobotany; Quality control; Authentication; Traceability.

INTRODUÇÃO

A Farmacobotânica, considerada a base da Farmacognosia, constitui referência para a análise de plantas medicinais e drogas vegetais ao estabelecer, de forma clássica, procedimentos de identificação por métodos macro e microscópicos. O marco inicial da botânica científica é atribuído a Teofrasto, que no século IV a.C. descreveu mais de 500 espécies vegetais em suas obras *"Historia Plantarum"* e *"De Causis Plantarum"*, realizando observações sistemáticas sobre a morfologia externa, os hábitos de crescimento e os usos medicinais das plantas. Muitos séculos depois, no século XVII, com o avanço das técnicas ópticas e a invenção do microscópio composto, Robert Hooke observou fatias de cortiça e descreveu, em 1665, as "células" vegetais, inaugurando os estudos microscópicos da estrutura interna das plantas (Ruzin, 1999; Peters, 2024).

Aos poucos a botânica deixou de se restringir à descrição externa e empírica das plantas, passando a incorporar observações científicas precisas de seus tecidos e estruturas internas. Isso abriu caminho para a aplicação desse conhecimento à farmacologia, estabelecendo-se os alicerces para o desenvolvimento da Farmacobotânica (Oliveira & Akisue, 1997).

A Farmacobotânica estuda as plantas de interesse farmacêutico, com foco na identificação, descrição e classificação de espécies vegetais utilizadas como matéria-prima para medicamentos (Oliveira & Akisue, 1997). Seu papel é essencial para o reconhecimento adequado de drogas vegetais, garantindo a qualidade, autenticidade e segurança dos fitoterápicos e demais produtos derivados de plantas medicinais.

O desenvolvimento recente de técnicas de biologia molecular e de análises químicas, como a cromatografia, levou alguns autores a supor a obsolescência de métodos farmacobotânicos clássicos (Baratto et al., 2021). Essa interpretação, contudo, foi prontamente superada: na Farmacognosia, a escolha do método é guiada pelo objetivo analítico e pelo princípio de adequação ao uso, não pela sofisticação instrumental. Além disso, o crescimento do interesse científico e econômico pela biodiversidade vegetal e o avanço da fitoterapia no Brasil e no mundo reforçam a importância da Farmacobotânica como ferramenta para identificação e autenticação

de espécies, tanto *in natura* quanto processadas, contribuindo diretamente para a rastreabilidade, a padronização e o controle de qualidade de insumos farmacêuticos de origem vegetal (Wang et al., 2023).

O arcabouço da Farmacobotânica integra fundamentos de biologia e química: morfologia e anatomia vegetal (descrição de órgãos, tecidos e caracteres diagnósticos), taxonomia e sistemática (procedimentos de identificação botânica) e histoquímica (localização histológica de metabólitos por reações específicas). Esses elementos subsidiam monografias e parâmetros contidos em documentos oficiais, como a Farmacopeia de diferentes países.

Este capítulo apresenta os fundamentos da Farmacobotânica como ferramenta estratégica para a cadeia produtiva de insumos farmacêuticos ativos de origem vegetal, abrangendo desde aspectos morfoanatômicos até técnicas de identificação e de análise aplicadas a materiais vegetais, com ênfase nas implicações práticas para o desenvolvimento, a padronização e o controle de qualidade de produtos farmacêuticos, cosméticos e agroindustriais.

PANORAMA HISTÓRICO GERAL

Nos tratados antigos, a Farmacognosia abrangia o conjunto do conhecimento sobre substâncias naturais de valor terapêutico, incluindo aquilo que mais tarde se delimitaria como Farmacobotânica. Registros do Egito e da Mesopotâmia, bem como das tradições médicas indiana e chinesa, atestam o uso e a sistematização primitiva das drogas vegetais (Trease & Evans, 2009; Capasso, 2011). Na Grécia, a inflexão racional e observacional de Hipócrates e, sobretudo, de Teofrasto, com "*Historia Plantarum*", estabeleceu bases descritivas da botânica aplicada (Trease & Evans, 2009). No século I d.C., "*De Materia Medica*" de Dioscórides consolidou um repertório técnico para descrição, classificação e uso de cerca de seiscentas espécies com finalidades terapêuticas, referência que perdurou por séculos (Trease & Evans, 2009).

Durante o medievo europeu e islâmico, a transmissão e a crítica do saber botânico-medicinal foram preservadas e ampliadas por redes monásticas, escolas médicas e centros de tradução no Mediterrâneo e em al-Andalus. O Renascimento e a imprensa impulsionaram herbários e farmacopeias, como o *Ricettario Fiorentino* (1492) e o "*Codex Medicamentarius Parisiensis*" (1590), enquanto Paracelso introduziu a noção de "princípio ativo", abrindo espaço para leituras químicas das drogas (Trease & Evans, 2009). No início do século XIX, a Farmacognosia firmou-se como disciplina (Schmidt; Seydler, *Analecta Pharmacognostica*, 1815), e a Farmacobotânica consolidou-se como vertente voltada à análise morfoanatômica, taxonômica e sistemática de drogas vegetais, tanto íntegras quanto pulverizadas (Oliveira & Akisue, 1997).

O adensamento da microscopia e de métodos descritivos, entre os séculos XIX e XX, integrou definitivamente a Farmacobotânica ao controle de qualidade e à autenticação de materiais em farmacopeias (Oliveira & Akisue, 1997).

Em perspectiva decolonial, é central reconhecer matrizes africanas na história da Farmacobotânica: tradições médico-botânicas do Vale do Nilo, do Magrebe e das savanas e florestas úmidas da África Ocidental e Central estruturaram farmacopeias locais, manejos de paisagem e rotas de difusão de espécies e técnicas (OAU/STRC, 1985; OMS, 2013). A erudição árabe-berbere no Norte da África dialogou com a botânica greco-romana e persa, articulando observação empírica, classificação e preparo de drogas (Trease & Evans, 2009). Nos circuitos transsaarianos e do Índico, conhecimentos botânicos circularam entre Sahel, Corno da África e costa swahili, combinando usos medicinais, alimentares e ritualísticos (OMS, 2013).

Na contemporaneidade, técnicas de biologia molecular (*barcoding*, *metabarcoding*) e de análise química (cromatografias e espectrometrias) ampliaram a resolução taxonômica e a rastreabilidade; ainda assim, a Farmacobotânica permanece basilar para diagnóstico morfoanatômico, autenticação, detecção de adulterações e padronização de monografias, em convergência com exigências farmacopeicas e de boas práticas (Oliveira & Akisue, 1997; Heinrich & Jäger, 2015). A integração entre marcadores anatômicos, dados quimiométricos e traçadores moleculares sustenta cadeias seguras de suprimento e controle de qualidade, do material *in natura* ao pó e a derivados processados (Heinrich & Jäger, 2015). Desse modo, a Farmacobotânica continua a fornecer a base científica para a identificação e a qualificação de insumos vegetais para as indústrias cosmética, farmacêutica, agroindustrial e outras, na atualidade (Trease & Evans, 2009; WHO, 2013).

A RAZÃO DE SER DA FARMACOBOTÂNICA

A Farmacobotânica opera como tecnologia de garantia da qualidade: padroniza a linguagem científica, ancora a reprodutibilidade de pesquisas e orienta decisões regulatórias e industriais sobre autenticação, substituição, adulteração e conformidade de insumos vegetais (Heinrich & Jäger, 2015).

Taxonomia vegetal

A taxonomia vegetal descreve, nomeia e classifica plantas em um sistema hierárquico que padroniza a comunicação científica. A consolidação moderna remonta a Carl Linnaeus, que propôs o *Systema Naturae* (1735) e, em seguida, a nomenclatura binomial em obras como *Species Plantarum* (1753), reduzindo ambiguidades decorrentes de múltiplos nomes vernáculos e locais (Linnaeus, 1735, 1753; Turland et al., 2018).

No âmbito da Farmacobotânica, a identificação correta é condição *sine qua non* para qualidade, segurança e eficácia de produtos à base de plantas. Espécies morfológicamente semelhantes podem conter perfis químicos distintos, inclusive tóxicos, o que torna a determinação taxonômica etapa crítica do controle de qualidade (Gonçalves & Lorenzi, 2008).

Os procedimentos taxonômicos integram caracteres morfológicos e anatômicos com abordagens complementares, como quimiosistemática e filogenia molecular. A classificação filogenética contemporânea (APG IV) e ferramentas de DNA *barcoding* ampliaram a resolução e a rastreabilidade, especialmente em materiais fragmentados ou processados (APG IV, 2016; CBOL, 2009; Heinrich & Jäger, 2015).

Assim, a taxonomia deixa de ser apenas um arranjo classificatório e passa a atuar como tecnologia de garantia da qualidade: padroniza nomes científicos, sustenta a rastreabilidade e a reprodutibilidade de pesquisas, e orienta a autenticação de matérias-primas ao longo da cadeia, da coleta e cultivo ao desenvolvimento de fitoterápicos e demais produtos de origem vegetal (Heinrich & Jäger, 2015).

Análise macroscópica

A análise morfológica (isto é, análise macroscópica) constitui etapa primária e indeclinável do exame farmacognóstico, pois orienta o reconhecimento e a diferenciação de drogas vegetais com base no aspecto externo, forma, dimensões, consistência, coloração, textura e caracteres de superfície, permitindo aferir integridade, estado de conservação e eventuais indícios de adulteração (Capasso, 2011). Alterações de cor, presença de sujidades, fragmentos estranhos ou sinais de fungos comprometem o valor diagnóstico e sinalizam degradação. Em folhas, a combinação de forma (linear a ovada, lanceolada ou elíptica), margem (inteira a serrada) (Fig. 1 B), ápice (agudo a arredondado), base (atenuada a cordada) (Fig. 1 C), consistência (membranácea, coriácea, carnosa), indumento (glabro ou piloso) (Fig. 1 A), nervação (peni-, palmi- ou paralelinérvea), filotaxia (alterna, oposta, verticilada) e coloração adaxial/abaxial oferece um painel robusto de caracteres diagnósticos; o brilho, a presença de pontos glandulares e o odor liberado por atrito acrescentam poder discriminante entre espécies aparentadas (Capasso, 2011; Li et al., 2022).

Em caule, a geometria da secção (circular, quadrangular, sulcada, alada), a superfície (lisa, estriada, tricomatosa) e a consistência (herbácea, suculenta, lenhosa) auxiliam a determinar origem e maturidade do material; rizomas e tubérculos, por exemplo, de *Zingiber officinale* L. e *Curcuma longa* L. constituem frequentemente a própria droga comercial. Em raízes, o arquétipo (axial, fasciculado e tuberoso), a superfície (lisa, rugosa e fissurada), a cor externa e a coloração do córtex à fratura, bem como notas aromáticas, têm valor identificador. Por sua rapidez e confiabilidade,

a morfologia externa precede e complementa as análises microscópicas e químicas, funcionando como triagem para erros de coleta, misturas e falsificações, e fundamenta descrições e iconografias exigidas por monografias e farmacopéias, assegurando autenticidade e rastreabilidade (Capasso, 2011).

Análise microscópica

No âmbito microscópico, a anatomia vegetal, em cortes transversal, longitudinal e paradérmico avaliados por microscopia óptica ou eletrônica, revela estruturas diagnósticas mesmo em amostras fragmentadas ou pulverizadas, como tipos de estômatos e tricomas, cristais de oxalato de cálcio, vasos e inclusões de reserva/secreção, conferindo alto poder de autenticação de espécie e parte usada (Rodrigues et al., 2015; Appezzato-Da-Glória & Carmello-Guerreiro, 2022).

A organização hierárquica célula–tecido–órgão embasa a interpretação dos tecidos fundamentais e vasculares: parênquimas (de preenchimento, clorênquima paliádico/lacunoso e de reserva), colênquima (espessamento primário angular, lamelar, lacunar ou anelar) (Fig 1 D) e esclerênquima (fibras, esclereides lignificadas), além de xilema (condução de água/solutos raiz > parte aérea) e floema (translocação de assimilados multidirecional) (Appezzato-Da-Glória & Carmello-Guerreiro, 2022; Rodrigues et al., 2015). Entre os elementos epidérmicos com maior valor diagnóstico destacam-se os estômatos anomocítico, anisocítico, paracítico, diacítico e tetracítico, definidos pela disposição das células subsidiárias, e os tricomas tectores e glandulares, cuja morfologia, distribuição e densidade são frequentemente espécie-específicas (Fig 1E-F); em *Mentha piperita* L., os tricomas glandulares relacionam-se diretamente à produção de mentol (Brasil, 2024). Idioblastos com cristais de oxalato de cálcio (isto é, drusas, ráfides, estiletes) constituem marcadores anatômicos recorrentes em folhas, pecíolos e caules (Appezzato-Da-Glória & Carmello-Guerreiro, 2022).

A correlação entre órgão e farmacógeno direciona a coleta e o preparo: raízes atuam como estruturas de fixação, absorção e reserva e, na prática farmacognóstica, concentram alcaloides, taninos, glicosídeos e saponinas, sendo preferidas em tinturas, macerações e decocções; *Valeriana officinalis* L. ilustra o emprego tradicional de raízes ricas em taninos, flavonoides e alcaloides no manejo de quadros ansiosos (Simões et al., 2016; Santi & Esquivi, 2021). Caules e cascas, com epiderme, córtex, feixes vasculares e, quando presente, crescimento secundário, mantêm valor diagnóstico após secagem/fragmentação e podem acumular alcaloides, flavonoides, mucilagens e fenólicos; *Cinchona* spp. (fonte de quinina) e *Paullinia cupana* Kunth (caféina em tecidos jovens) evidenciam a relevância desse órgão, cujas cascas são frequentemente preparadas por decocção (Lorenzi & Matos, 2008). Folhas, pela arquitetura epidérmica (estômatos, tricomas), parênquima paliádico/lacunoso e feixes no mesófilo, reúnem caracteres

de alto valor diagnóstico mesmo após processamento, além de acumularem óleos essenciais, flavonoides, terpenos, alcaloides, taninos e glicosídeos; *Piper aduncum* é exemplo clássico de uso pelas atividades antimicrobiana, inseticida e antioxidante (Apezato-Da-Glória & Carmello-Guerreiro, 2022; Loureiro, 2016; Lucena et al., 2017; Rebelo et al., 2009). Nas flores — sépalas, pétalas, estames e carpelos —, caracteres taxonômicos e fitoquímicos se combinam; nas inflorescências femininas de *Cannabis sativa* L., tricomas glandulares concentram fitocanabinoides (como canabidiol), terpenos e flavonoides de interesse terapêutico (Fordjour et al., 2023).

A nível celular (ultraestruturas), a parede, composta majoritariamente de celulose, hemiceluloses, pectinas, cutina/cera, suberina e lignina, confere resistência mecânica, barreira e controle osmótico; em histologia, a safranina evidencia regiões lignificadas, permitindo inferências sobre rigidez e maturidade do tecido (Rodrigues et al., 2015). A membrana plasmática organiza o tráfego seletivo; o citoesqueleto vegetal, formado por microtúbulos e filamentos de actina, orienta deposição parietal e fluxo vesicular (Evert, 2006).

O retículo endoplasmático rugoso sintetiza proteínas e lipídios específicos, incluindo terpenos em estruturas secretoras, ao passo que vacúolos, hoje entendidos como compartimentos dinâmicos, participam de armazenamento, detoxificação e, por vezes, biossíntese de metabólitos secundários (Crang et al., 2018; Shitan & Yazaki, 2020). Entre os plastídios, cloroplastos sustentam a fotossíntese; cromoplastos acumulam carotenoides; leucoplastos (oleo-, proteino-, amiloplastos) estocam reservas, sendo os amiloplastos também estatólitos na coifa; tanossomos representam cloroplastos diferenciados ricos em taninos em certos táxons (Evert, 2009; Crang et al., 2018). Peroxissomos e glioxissomos completam o aparato metabólico de oxidação e mobilização lipídica em sementes, enquanto complexo de Golgi integra síntese/secreção de componentes não celulósicos da parede e origina vesículas, membrana e vacúolos (Rodrigues et al., 2015; Apezato-Da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2022).

A análise microscópica de drogas vegetais em pó ou pulverizadas reveste-se de especial importância na farmacognosia, uma vez que tais amostras representam a forma mais comum de comercialização e manipulação em fitoterápicos, cápsulas, chás e formulações magistrais. A identificação correta nesses materiais exige observação criteriosa de fragmentos celulares e elementos anatômicos diagnósticos, que muitas vezes se apresentam dispersos e deformados. Para tanto, a diafanização, etapa que visa tornar os tecidos translúcidos, é fundamental. Essa etapa é comumente realizada com o uso de agentes clareadores como o ácido láctico ou o hipoclorito de sódio, que removem pigmentos e substâncias interferentes, permitindo a visualização nítida de estruturas como tricomas, estômatos, cristais e elementos vasculares sob microscopia óptica. Assim, o estudo de pós vegetais diafanizados constitui ferramenta indispensável para autenticação, detecção de adulterações e controle de qualidade, assegurando a confiabilidade farmacognóstica e a rastreabilidade botânica da matéria-prima vegetal (Oliveira & Akisue, 1997).

Histoquímica vegetal

A histoquímica vegetal viabiliza a identificação *in situ* de constituintes em tecidos por reações cromáticas ou precipitações, sendo decisiva quando a droga se apresenta fragmentada ou em pó (Ventrella et al., 2013). O painel clássico inclui: Lugol para amido (azul-escuro nos grãos de reserva) (Johansen, 1940); Sudan III/IV para lipídios (Fig. 1 G-H) (vermelho/laranja em corpúsculos lipofílicos, canais e tricomas glandulares) (Pearse, 1980); cloreto férrico para taninos (azul-escuro a verde-pardo em tecidos adstringentes) (Johansen, 1940); floroglucina-HCl para lignina (vermelho em fibras e vasos do xilema) (Wardrop, 1971); e Dragendorff para alcaloides (precipitados alaranjados a avermelhados em tecidos ricos em nitrogênio) (Svendsen; Verpoorte, 1983). A convergência entre exame macroscópico criterioso, diagnóstico anatômico e confirmação histoquímica estabelece a base técnico-científica para autenticação, padronização e controle de qualidade de drogas vegetais.

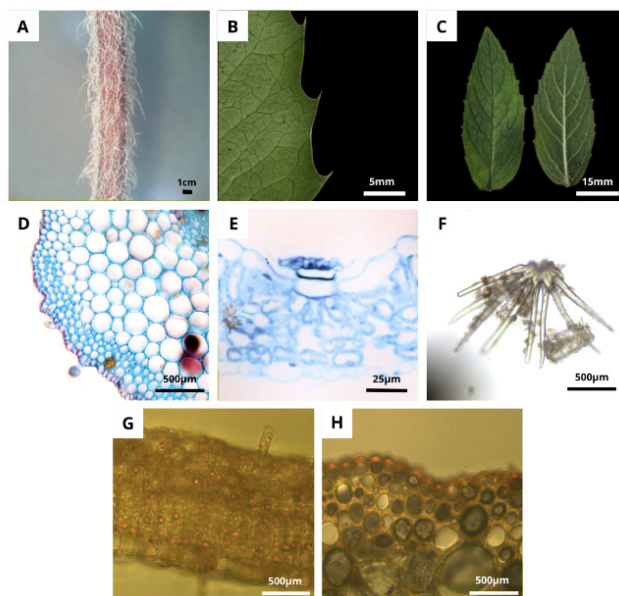


Figura 1. Exemplos de aspectos analisados da Farmacobotânica. Indumento piloso no caule de *Mentha arvensis* L. (A); margem serreada em *Maytenus ilicifolia* M. (B); ápice agudo e base arredondada em *M. arvensis* L., com visão adaxial e abaxial (C); células de parênquima e colênquima em *Piper gaudichaudianum* Kunth. (D); tricoma peltado em *M. arvensis* (E); tricoma estrelado em *Peumus boldus* M. obtido a partir da diafanização do pó da droga vegetal (F); presença de mistura de substâncias lipídicas no mesofilo (G) e cutícula de *M. arvensis* em reação ao reagente Sudan III (H).

Fonte: Dados dos autores

APLICAÇÃO DA FARMACOBOTÂNICA EM MARCOS LEGAIS NO BRASIL

A integração entre Farmacobotânica e marcos regulatórios no Brasil é basilar para a comprovação de identidade, pureza e qualidade de drogas vegetais e para a rastreabilidade regulatória de fitoterápicos. A Farmacopeia Brasileira consolida esse elo ao fixar requisitos macro- e microanatómicos, perfis cromatográficos e ensaios de qualidade que fundamentam o registro junto à Anvisa (Fig. 2 A–D) (ANVISA, 2024a, b, c). Documentos complementares — Memento Fitoterápico e Formulário de Fitoterápicos — operacionalizam o uso tradicional seguro e a padronização farmacotécnica (ANVISA, 2016; ANVISA, 2024b). Em sinergia com a RDC nº 26/2014, RDC nº 10/2010, IN nº 02/2014 e a Lei nº 13.123/2015, esse arcabouço alinha diagnóstico botânico, qualidade analítica e conformidade jurídica, mitigando adulterações e fortalecendo a segurança do paciente (ANVISA, 2014a; ANVISA, 2010; ANVISA, 2014b; BRASIL, 2015).

Além do âmbito farmacêutico, a mesma base Farmacobotânica ancora a conformidade de produtos cosméticos e das cadeias agroindustriais de plantas aromático-medicinais: em cosméticos, a RDC nº 752/2022 (classificação, rotulagem e requisitos técnicos) e a RDC nº 48/2013 (Boas Práticas de Fabricação), apoiadas pelo Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos, demandam identidade botânica, controle microbiológico e padronização de insumos e processos. Na agroindústria, as Boas Práticas Agrícolas para plantas medicinais e aromáticas e a padronização terminológica das matérias-primas, articuladas às competências regulatórias do MAPA, sustentam rastreabilidade, autenticidade e segurança do cultivo à transformação.

A Farmacopeia Brasileira, compêndio oficial que fixa requisitos mínimos de identidade, pureza e qualidade para insumos e medicamentos sob vigilância sanitária, estrutura o controle de drogas vegetais com base em critérios farmacobotânicos, físico-químicos, microbiológicos e fitoquímicos, e subsidia tecnicamente o registro de fitoterápicos junto à Anvisa (ver Fig. 2 A–D) (ANVISA, 2024a).

Ao lado das monografias, documentos complementares orientam a prática: o Memento Fitoterápico reúne informações técnico-científicas e clínicas de uso tradicional (Fig. 2A), enquanto o Formulário de Fitoterápicos padroniza preparações farmacotécnicas (Fig. 2B) (ANVISA, 2016; ANVISA, 2024b).



Figura 2. Documentos oficiais norteadores no Brasil para Farmacobotânica. 1ª edição do Memento Fitoterápico da Farmacopeia Brasileira (A); 2ª edição do Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira (B); 7ª edição da Farmacopeia Brasileira (C); excerto do trecho de microscopia do pó da monografia de *Althaea officinalis* L. (D)

Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)

Historicamente, a normatização brasileira evoluiu do uso de compêndios europeus no período colonial à primeira edição nacional de 1926, seguida de oscilações no escopo de drogas vegetais, com retomada e consolidação na 7ª edição (2024) (Fig. 2C) (ANVISA, 2024a).

As monografias atuais apresentam organização técnico-regulatória compatível com exigências de registro, contemplando: título e definição da droga (nome científico com autoridade, nome vernáculo e parte utilizada); especificação de teor mínimo de marcadores ou constituintes; procedimentos de identificação e ensaios de qualidade. A identificação Farmacobotânica integra diagnóstico macroscópico (cor, morfologia, textura e fratura) e microdiagnóstico por microscopia óptica (tipos epidérmicos, tricomas tecto-secretórios e glandulares, aparato estomático, feixes vasculares, parênquimas paliádico e esponjoso, cristais de oxalato de cálcio, grãos de amido), incluindo a análise do pó vegetal—decisiva para autenticidade em insumos fragmentados (Fig. 2D). O perfil cromatográfico por CCD ou CLAE complementa a identidade química, com condições experimentais definidas (fase estacionária, fase móvel, preparo de soluções, substâncias de referência e sistema de detecção); em doseamento, procedimentos validados quantificam marcadores (v.g., derivados do ácido o-hidroxicinâmico em *Cynara scolymus*), assegurando conformidade com especificações (ANVISA, 2010; ANVISA, 2024a).

Os ensaios de qualidade estabelecem limites para matéria estranha, teor de água (perda por dessecação), cinzas totais, carga microbiana (contagem de mesófilos e pesquisa de patógenos), contaminantes inorgânicos (Hg, Cd, Pb, As), resíduos de agrotóxicos e micotoxinas (aflatoxinas). Para óleos essenciais, parâmetros físico-químicos como densidade relativa, índice de refração e rotação óptica funcionam como marcadores de autenticidade e integridade, alinhados aos padrões compendiais; a seção de embalagem e armazenamento normatiza condições de conservação para preservar estabilidade ao longo da cadeia. Ilustrações macro e micro, incluindo pranchas pioneiras, auxiliam o reconhecimento taxonômico e o confronto de caracteres diagnósticos (Fig. 2D) (ANVISA, 2010; ANVISA, 2024a).

Esse arcabouço compendial articula-se a normas sanitárias específicas. A RDC nº 26/2014 define critérios de segurança e eficácia para medicamentos fitoterápicos, exigindo dossiês de qualidade (botânicos, físico-químicos, microbiológicos), estudos de estabilidade, indicações terapêuticas e métodos de quantificação de marcadores; além disso, disciplina o registro e a notificação de produtos tradicionais fitoterápicos. Para esses produtos, admite-se comprovação de uso seguro por documentação histórica e científica, e conformidade a listas de referência como o Memento (ANVISA, 2014a; ANVISA, 2016).

PESPECTIVA DA FARMACOBOTÂNICA NO MUNDO

A Farmacobotânica vem se reposicionando ao integrar morfodiagnose de alta resolução com espectrometria de massas e mineração de dados em Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas de Alta Resolução (CL-EMAR ou LC-HRMS/MS), compondo um repertório robusto para autenticação, rastreabilidade e controle de qualidade em cadeias farmacêuticas, cosméticas, agroindustriais e de alimentos (Fig. 3).

Plataformas como MZmine e MS-DIAL, associadas a ontologias químicas e estratégias de anotação preditiva (SIRIUS/CANOPUS, COSMIC, SNAP-MS), reduziram a dependência exclusiva de padrões comerciais ao fortalecer a inferência estrutural e a classificação de famílias químicas, aprimorando “fingerprints” com utilidade regulatória e tecnológica (Schmid et al., 2023; Tsugawa et al., 2024).

A mobilidade iônica agregou a seção transversal de colisão (STC ou CCS) como atributo físico-químico independente, elevando a resolução para isômeros e a confiabilidade de anotações; em paralelo, a imagem por massas em tecidos vegetais consolidou uma “fito-histoquímica” espacial que mapeia metabólitos em tricomas, canais secretores e interfaces planta-microrganismo (Yin et al., 2023; Horn et al., 2024). Esses avanços já se refletem na detecção de quimiotipos e adulterações em óleos essenciais à luz da ISO internacionais, bem como em provas de autenticidade e origem de alimentos em abordagens de foodomics (Aydoğan, 2020).

O imageamento por dessorção/ionização a laser assistida por matriz – imagem por espectrometria de massas (MALDI-MSI) consolidou-se como base da “fito-histoquímica espacial”, mapeando *in situ* metabólitos (alcaloides, flavonoides, terpenoides, ácidos fenólicos) em tricomas, canais secretores, feixes vasculares e interfaces planta-microrganismo. Em fluxos padronizados, crioções recebem matrizes (CHCA, DHB, 9-AA) por deposição automatizada; derivatizações *on-tissue* e mobilidade iônica (TIMS/TWIMS) acrescentam CCS e resolvem isômeros; variantes AP-MALDI e MALDI-2 elevam sensibilidade (Vats et al., 2023). A quantificação relativa usa normalizações por TIC/RMS e padrões internos, com controle de repetibilidade e mitigação de supressão iônica. Plataformas (METASPACE, Cardinal, SiLS Lab) integram-se a LC-HRMS/MS e GC-MS, viabilizando anotação, classificação e quimiometria. Aplicações: autenticação de drogas vegetais e especiarias, detecção de adulterações e verificação de origem. Tendências incluem 3D-MSI e integração multimodal sob diretrizes FAIR, consolidando o MALDI-MSI como referência metrológica e regulatória (Aydoğan, 2020; Vats et al., 2023).

No fronte operacional, ionizações ambiente (DART-MS, DESI-MS) encurtam o ciclo coleta-decisão em triagens de fitoterápicos e especiarias, com confirmações por CL-EMAR/EM ± Espectrometria de Mobilidade Iônica - EMI (LC-HRMS/MS ± IMS)

e quimiometria (Noll et al., 2025; Rodríguez-Sevilla & González-Domínguez, 2021); ferramentas de análise morfológica assistida por computação avançada já superaram fluxos manuais em fenotipagem estomática, caracteres epidérmicos e identificação visual a partir de folhas, exsicatas e superfícies lenhosas, com aplicações em fiscalização e due diligence, enquanto a hiperespectral melhora a triagem de sementes (Feng et al., 2019). No eixo molecular, *barcoding*/*minibarcoding* e *metabarcoding* tornaram-se padrão para autenticação de espécies em matrizes processadas, com portabilidade via nanopore e vigilância descentralizada, desde que triangulados com química e morfologia; métodos clássicos, como Cromatografia em Camada Delgada de Alta Eficiência (CCD-AE), permanecem centrais na triagem e validação (Sung & Lee, 2024; Ibrahim et al., 2024). A agenda imediata inclui dados FAIR, materiais de referência, relatórios mínimos, auditoria transparente de modelos e incorporação explícita da variabilidade espaço-temporal de metabólitos (quimiotipos e cronótipos) às especificações e ao desenho experimental (Ghafari et al., 2024; Aydoğan, 2020). Em síntese, a área consolida-se como eixo integrador entre morfologia, química e genômica aplicada, fornecendo a base metrológica para decisões regulatórias de alto impacto (Schmid et al., 2023; Tsugawa et al., 2024).

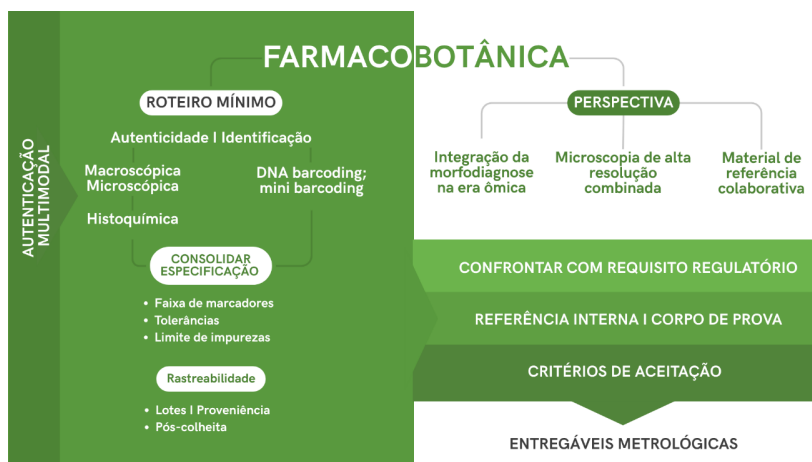


Figura 2. Requisitos mínimos e perspectivas para o futuro da Farmacobotânica

Fonte: Dados dos autores

CONCLUSÃO

Consolidando os argumentos e evidências apresentados, a Farmacobotânica afirma-se como eixo estruturante da cadeia produtiva farmacêutica baseada em plantas ao articular, de modo complementar e verificável, a taxonomia e a morfoanatomia (macro e microdiagnóstico), a histoquímica, os perfis cromatográficos e a genômica aplicada, assegurando autenticidade, rastreabilidade e conformidade regulatória desde a matéria-prima até o produto final; no contexto brasileiro, seu diálogo com a Farmacopeia, o Memento e o Formulário de Fitoterápicos sustenta decisões técnicas e sanitárias, enquanto, em perspectiva internacional, a integração com CL-EMAR/EM, mobilidade iônica, imageamento por massas (MALDI-MSI), *barcoding/minibarcoding* e análise quimiométrica amplia a capacidade de detectar adulterações, caracterizar quimiotipos e padronizar especificações; assim, mais que um conjunto de técnicas, a Farmacobotânica configura uma plataforma metrológica e normativa indispensável para inovação responsável, para a redução de incertezas na qualidade e para a construção de cadeias de suprimento seguras, transparentes e alinhadas às melhores práticas científicas e regulatórias.

REFERÊNCIAS

ANVISA. **Farmacopeia Brasileira: 7. ed. – volume I (versão RDC nº 940/2024)**. Brasília, DF: Anvisa, 2024. Disponível em: <https://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/11937>. Acesso em: 31 out. 2025.

ANVISA. **Farmacopeia Brasileira: 7. ed. – volume II (Insumos farmacêuticos e especialidades; versão RDC nº 940/2024)**. Brasília, DF: Anvisa, 2024a. Disponível em: <https://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/11974>. Acesso em: 31 out. 2025.

ANVISA. **Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira: 2. ed. – versão RDC nº 952/2024**. Brasília, DF: Anvisa, 2024b. Disponível em: <https://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/12413>. Acesso em: 31 out. 2025.

ANVISA. **Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira: 2. ed.** Brasília, DF: Anvisa, 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/formulario-fitoterapico/2024-fffb2-1-er-3-atual-final-versao-com-capa-em-word-2-jan-2024.pdf>. Acesso em: 31 out. 2025.

ANVISA. **Memento Fitoterápico da Farmacopeia Brasileira: 1. ed.** Brasília, DF: Anvisa, 2016. Disponível em: <https://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/12409>. Acesso em: 31 out. 2025.

ANVISA. **Resolução RDC nº 10, de 9 de março de 2010: institui a notificação de drogas vegetais**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 mar. 2010. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/rdc0010_09_03_2010.pdf. Acesso em: 31 out. 2025.

ANVISA. **Resolução RDC nº 138, de 29 de maio de 2003: dispõe sobre o enquadramento na categoria de venda de medicamentos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 maio 2003. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0138_29_05_2003.html. Acesso em: 31 out. 2025.

ANVISA. **Resolução RDC nº 26, de 13 de maio de 2014: dispõe sobre o registro de medicamentos fitoterápicos e o registro e a notificação de produtos tradicionais fitoterápicos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 maio 2014. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0026_13_05_2014.pdf. Acesso em: 31 out. 2025.

APG IV – *Angiosperm Phylogeny Group*. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1–20, 2016. DOI: 10.1111/boj.12385. Disponível em: <https://academic.oup.com/botlinnean/article/181/1/1/2416499>. Acesso em: 31 out. 2025.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2022. 422 p. ISBN 978-65-5925-054-7.

ARTE DEI MEDICI E SPEZIALI DI FIRENZE. **Ricettario fiorentino**. Firenze: [s.n.], 1498. Nota histórica: primeiras edições impressas datam do fim do séc. XV (ano florentino 1498/1499) e houve reedições em 1550 e 1567. Fac-símile consultado: Ricettario fiorentino, 1498 (Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, 1968). Disponível em: https://books.google.com/books/about/Ricettario_fiorentino_1498.html?id=uvYjAQAAMAAJ. Acesso em: 31 out. 2025.

AYDOĞAN, Cemil. Recent advances and applications in LC-HRMS for food and plant natural products: A critical review. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 412, n. 9, p. 1973–1991, 2020.

BARATTO, L. C. (org.). **A farmacognosia no Brasil: memórias da Sociedade Brasileira de Farmacognosia**. 1. ed. Petrópolis, RJ: Ed. do Autor, 2021. ISBN 978-65-00-34297-0. Disponível em: www.farmacognosianobrasil.com. Acesso em: 31 out. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015**. Regulamenta o acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado e estabelece repartição de benefícios. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 maio 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13123.htm. Acesso em: 31 out. 2025.

CAPASSO, F.; DE PASQUALE, R.; GRANDOLINI, G. **Farmacognosia: botanica, chimica e farmacologia delle piante medicinali**. 2. ed. Milano: Springer Milan, 2011. ISBN 978-88-470-1651-4.

CBOL PLANT WORKING GROUP. A DNA barcode for land plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 31, p. 12794–12797, 2009. DOI: 10.1073/pnas.0905845106.

CRANG, R.; LYONS-SOBASKI, S.; WISE, R. **Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants**. Cham: Springer Nature, 2018. ISBN 978-3-319-77315-7.

DIOSCORIDES, Pedanius. **De materia medica**. Trad. Lily Y. Beck. Hildesheim: Olms-Weidmann, 2005.

EVANS, W. C. **Trease and Evans' Pharmacognosy**. 16th ed. Edinburgh: W. B. Saunders/Elsevier, 2009.

EVANS, W. C. **Trease and Evans' Pharmacognosy**. 16th ed. Edinburgh: W. B. Saunders, 2009.

EVERT, R. F. **Esau's Plant Anatomy**. 3. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2006. 601 p.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS. **Codex medicamentarius parisiensis**. Paris: [s.n.], 1590.

FENG, Lei et al. Hyperspectral imaging for seed quality and safety inspection: A review. **Plant methods**, v. 15, n. 1, p. 91, 2019. DOI: 10.1186/s13007-019-0476-y

FORDJOUR, E. et al. Cannabis: a multifaceted plant with endless potentials. **Frontiers in Pharmacology**, v. 14, 2023, art. 1200269. DOI: 10.3389/fphar.2023.1200269.

GHAFAARI, N. et al. Challenges and recent advances in quantitative mass-spectrometry-based metabolomics. **Analysis & Sensing**, v. 4, n. 1, p. e202300144, 2024. DOI: 10.1002/anse.202300144.

GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ, A. et al. QC omics: Recommendations and guidelines for robust, easily implementable and reportable quality control of metabolomics data. **Analytical chemistry**, v. 96, n. 3, p. 1064-1072, 2024. DOI: 10.1021/acs.analchem.3c03660

HEINRICH, M.; JÄGER, A. K. **Ethnopharmacology**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2015. ISBN 978-1-118-59823-5.

HORN, P. J.; CHAPMAN, K. D. Imaging plant metabolism in situ. **Journal of Experimental Botany**, v. 75, n. 6, p. 1654–1670, 2024. DOI: 10.1093/jxb/erad423.

IBRAHIM, Munir et al. Existing status and future advancements of adulteration detection techniques in herbal products. **Molecular Biology Reports**, v. 51, n. 1, p. 151, 2024. DOI: 10.1007/s11033-023-09122-9

JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1940. 523 p.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York; London: McGraw-Hill, 1940. xi, 523 p.

LI, X.-C. et al. *Viola shiweii*, a new species of *Viola* (Violaceae) from karst forest in Guizhou, China. **PhytoKeys**, v. 196, p. 63–89, 2022. DOI: 10.3897/phytokeys.196.83176.

LINNAEUS, C. **Species Plantarum**. Holmiae [Stockholm]: Laurentius Salvius, 1753.

LINNAEUS, C. **Systema Naturae**. Lugduni Batavorum [Leiden]: Theodorum Haak, 1735.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 544 p. p. 114–116. ISBN 85-86714-28-3.

LOUREIRO, R. J.; ROQUE, F.; RODRIGUES, A. T.; HERDEIRO, M. T.; RAMALHEIRA, E. O uso de antibióticos e as resistências bacterianas: breves notas sobre a sua evolução. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 77–84, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/revista-portuguesa-de-saude-publica/vol/34/issue/1>. Acesso em: 31 out. 2025.

LUCENA, D. C. et al. Biological activity of *Piper aduncum* extracts on *Anticarsia gemmatilis* (Hübner) (Lepidoptera: Erebididae) and *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 3, p. 1869–1879, 2017. DOI: 10.1590/0001-3765201720170194.

MAHIMA, Karthikeyan et al. Advancements and future prospective of DNA barcodes in the herbal drug industry. **Frontiers in pharmacology**, v. 13, p. 947512, 2022. DOI: 10.3389/fphar.2022.947512

NOLL, S. E. et al. Quantitative ambient mass spectrometry imaging in plants: A perspective on challenges and future applications. **Current opinion in plant biology**, v. 85, p. 102736, 2025. DOI: 10.1016/j.cpb.2025.102736

OAU/STRC – ORGANIZATION OF AFRICAN UNITY. Scientific, Technical and Research Commission (STRC). **African Pharmacopoeia**. v. 1. Lagos: OAU/STRC, 1985. ISBN 978-978-2453-02-0.

OLIVEIRA, F. de; AKISUE, G. **Fundamentos de Farmacobotânica**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1997. Cap. 1, p. 7.

OMS – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO traditional medicine strategy: 2014–2023**. Geneva: WHO, 2013. ISBN 978-92-4-150609-6. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241506096>. Acesso em: 31 out. 2025.

PEARSE, A. G. E. **Histochemistry: theoretical and applied**. 4. ed. London: Longman, 1980. 246 p.

PETERS, W. S. Will the real Robert Hooke please stand up? **The Plant Cell**, v. 36, n. 11, p. 4680–4682, 2024.

REBELO, M. M.; SILVA, J. K. R.; ANDRADE, E. H. A.; MAIA, J. G. S. Capacidade antioxidante e atividade biológica de óleo essencial e extrato etanólico de *Hyptis crenata* Pohl ex Benth. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2, p. 230–235, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/Dqnz8vS9KNyQTtDRcJYbFyL/>. Acesso em: 31 out. 2025.

RODRIGUES, A. C.; AMANO, É.; DE ALMEIDA, S. L. **Anatomia vegetal**. Florianópolis: UFSC/SEaD, 2015. 152 p.

RODRÍGUEZ-SEVILLA, P.; GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ, R. Ambient mass spectrometry for food authentication: recent advances and future perspectives. **Analytical Methods**, 2021. [Dados bibliográficos complementares (volume, fascículo, páginas e DOI) não localizados com segurança nas bases consultadas.]

RUZIN, S. E. **Plant microtechnique and microscopy**. New York: Oxford University Press, 1999.

SANTI, R. F. de; ESQUIVI, E. C. O uso da *Valeriana officinalis* no tratamento de transtornos de ansiedade. **Revista Científica Unilago**, São José do Rio Preto, v. 4, n. 1, p. 1–14, 2022. Disponível em: <https://revista.unilago.edu.br/index.php/revista/article/view/922>. Acesso em: 31 out. 2025.

SCHMID, R. et al. Integrative analysis of multimodal mass spectrometry data in MZmine 3. **Nature Biotechnology**, v. 41, p. 447–449, 2023. DOI: 10.1038/s41587-023-01690-2.

SCHMIDT, J. A. **Lehrbuch der Materia Medica**. Wien: Kupffer & Wimmer, 1811.

SCHWANN, T. **Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen**. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1839.

SEYDLER, C. A. **Analecta pharmacognostica**. Halle: Grunert, 1815.

SHITAN, N.; YAZAKI, K. Dynamism of vacuoles toward survival strategy in plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes**, v. 1862, n. 12, p. 183127, 2020. DOI: 10.1016/j.bbmem.2019.183127.

SIMÕES, C. M. O. et al. (Org.). **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 502 p. ISBN 978-85-8271-359-4.

SVENDSEN, B. A.; VERPOORTE, R. **Chromatography of Alkaloids. Part A: Thin-layer Chromatography**. Amsterdam; Oxford; New York; Tokyo: Elsevier, 1983. (Journal of Chromatography Library, v. 23A). p. 1–19.

THEOPHRASTUS. **Enquiry into Plants; and Minor Works on Odours and Weather Signs**. Tradução de Arthur Hort. Cambridge, MA: Harvard University Press; London: William Heinemann, 1916. 2 v. (Loeb Classical Library).

TSUGAWA, H. et al. MS-DIAL 5 multimodal mass spectrometry data mining unveils lipidome complexities. **Nature Communications**, v. 15, art. 9903, 2024. DOI: 10.1038/s41467-024-54137-w.

TURLAND, N. J. et al. **International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code)**. Königstein: Koeltz Botanical Books, 2018. (Regnum Vegetabile, 159). DOI: 10.12705/Code.2018.

VATS, M.; GUPTA, M.; KALIA, A.; BHANDWARI, S.; KAPOOR, S.; KUMAR, R.; SINGH, G. Mass spectrometry imaging in plants, microbes, and food. **Analyst**, v. 149, n. 17, p. 5216–5235, 2024. DOI: 10.1039/d4an00737f.

VENTRELLA, M. C.; ALMEIDA, A. L.; NER, L. A.; MIRANDA COELHO, V. P. **Métodos histoquímicos aplicados a sementes**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 40 p. (Caderno Didático n. 1, CESE).

VIRCHOW, R. **Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre**. Berlin: A. Hirschwald, 1858.

WANG, H. et al. Advancing herbal medicine: enhancing product quality and safety through robust quality control practices. **Frontiers in Pharmacology**, v. 14, e1265178, 2023. DOI: 10.3389/fphar.2023.1265178.

WARDROP, A. B. Morphological and chemical aspects of differentiation of secondary xylem. **Phytochemistry**, v. 10, n. 12, p. 2135–2142, 1971.

YIN, Z.; FERNIE, A. R.; XU, G.; ZHANG, Y.; SUN, X.; YAN, S. Mass spectrometry imaging techniques: a versatile toolbox for spatial plant metabolomics. **Trends in Plant Science**, v. 28, n. 3, p. 250–251, 2023. DOI: 10.1016/j.tplants.2022.11.002.