REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

AVANÇOS NA QUÍMICA, EXTRAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÕES TERAPÊUTICAS DAS ANTOCIANINAS: UMA REVISÃO NARRATIVA

ADVANCES IN THE CHEMISTRY, EXTRACTION, CHARACTERIZATION, AND THERAPEUTIC APPLICATIONS OF ANTHOCYANINS: A NARRATIVE REVIEW

Ciências Biológicas, Ciências da Saúde • 24/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/795468344

Ana Luísa Perdigão Assenheimer[1]

Camile Vitória de Oliveira Assunção[2]

Gabriela Oliveira de Paula[3]

Luna Emanuela Coelho de Carvalho[4]

Anderson Hollerbach Klier[5]

RESUMO

O presente artigo aborda os avanços científicos relacionados às antocianinas, com ênfase em suas características químicas, métodos de extração, técnicas de caracterização e aplicações terapêuticas. O objetivo foi sintetizar criticamente os conhecimentos disponíveis na literatura sobre o perfil químico desses compostos, sua estabilidade estrutural, as tecnologias de obtenção e purificação, seu potencial farmacológico e os critérios de controle de qualidade. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, fundamentada na análise de nove obras científicas das áreas de Química de Alimentos, Análise Cromatográfica e Biotecnologia de Produtos Naturais. Foram comparados métodos convencionais e emergentes de extração, incluindo maceração, Soxhlet, extração assistida por micro-ondas e ultrassom, extração por fluidos supercríticos, líquidos pressurizados, solventes eutéticos naturais e extração enzimática, além de técnicas cromatográficas associadas à espectrometria de massas. Os resultados demonstram que a estabilidade das antocianinas é influenciada por sua estrutura química, pelo pH e pelas condições ambientais. Também são destacadas suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e metabólicas, bem como os desafios relacionados à estabilidade e à padronização analítica. Conclui-se que o aprimoramento dos métodos de extração, caracterização e controle de qualidade é fundamental para ampliar as possibilidades de aplicação desses compostos nos setores alimentício e farmacêutico.

Palavras-chave: antocianinas; extração; caracterização química; potencial terapêutico.

ABSTRACT

This article addresses scientific advances related to anthocyanins, focusing on their chemical characteristics, extraction methods,

characterization techniques, and therapeutic applications. The objective was to critically synthesize the available literature on the chemical profile of these compounds, their structural stability, extraction and purification technologies, pharmacological potential, and quality control criteria. This study consists of a narrative literature review based on the analysis of nine scientific publications in the fields of Food Chemistry, Chromatographic Analysis, and Natural Products Biotechnology. Conventional and emerging extraction methods were compared, including maceration, Soxhlet extraction, microwave-assisted extraction, ultrasound-assisted extraction, supercritical fluid extraction, pressurized liquid extraction, natural deep eutectic solvents, and enzymatic extraction, as well as chromatographic techniques coupled with mass spectrometry. The findings demonstrate that anthocyanin stability is influenced by their chemical structure, pH, and environmental conditions. Their antioxidant, anti-inflammatory, and metabolic properties are also highlighted, along with challenges related to stability and analytical standardization. It is concluded that improvements in extraction, characterization, and quality control methods are essential to expand the potential applications of these compounds in the food and pharmaceutical sectors.
Keywords: anthocyanins; extraction; chemical characterization; therapeutic potential.

1. INTRODUÇÃO

As antocianinas representam a classe mais expressiva de pigmentos polifenólicos hidrossolúveis pertencentes à família dos flavonoides, estando amplamente distribuídas no reino vegetal em órgãos como frutos, flores, folhas e raízes (LI et al., 2026). Historicamente associadas à sua característica de pigmentação que varia entre

vermelho, azul e violeta nas matrizes botânicas, essas moléculas enfrentam uma profunda redefinição científica e industrial. Elas estão passando por um processo de expansão, saindo unicamente de seu papel como corantes alimentícios para a condição de bioativos, formulações nutracêuticas e possível farmácia preventiva (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

Do ponto de vista químico, as antocianinas possuem como estrutura essencial o cátion 2-fenilbenzopirilium (íon flavílio), um esqueleto tríciclico cuja densidade eletrônica e padrões de substituição por grupos hidroxila e metoxila regem a reatividade físico-química e as propriedades cromáticas da molécula (LI et al., 2026).

Embora a aquisição dessas substâncias tenha sido historicamente dependente do extrativismo agrícola, o surgimento da manufatura biológica e da biotecnologia sintética possibilitou a criação de plataformas microbianas e celulares que conseguem contornar os problemas de rendimento e a degradação natural das fontes do composto (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

As uvas estão entre as matrizes vegetais com alto teor de antocianina. Seu bagaço é o principal subproduto do processamento de vinho, tornando-se uma fonte importante de interesse industrial. O bagaço é formado por cascas, sementes e restos de polpa provenientes do processo de prensagem (Yang; Kilmartin, 2025). A utilização dessa biomassa não fermentada, proveniente tanto de cultivares de *Vitis vinifera* quanto de espécies americanas como *Vitis rotundifolia*, fornece um recurso sustentável e abundante para a obtenção de altos níveis de flavonoides e antocianinas monoméricas de grande valor agregado (Pastrana Bonilla; Gutiérrez Guzmán, 2009; Yang; Kilmartin, 2025).

No entanto, a comercialização de extratos purificados e suplementos ricos em antocianinas esbarra em desafios técnicos significativos, devido à extrema instabilidade dessas estruturas em relação às variações de pH, oxigênio, luz e temperatura (Jaspers et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025). Essa vulnerabilidade demanda a criação de métodos de extração sustentáveis e eficazes, aliados a protocolos de caracterização rigorosos, utilizando cromatografia líquida de alta eficiência e espectrometria de massas em tandem. Para combater adulterações e garantir a reprodutibilidade dos efeitos terapêuticos pretendidos, é essencial que a padronização analítica esteja alinhada às diretrizes internacionais de validação (Xue et al., 2026; Jaspers et al., 2026).

As pesquisas sobre antocianinas também apontam questões importantes relacionadas à diversidade estrutural desses compostos, às diferenças entre as matrizes vegetais e à influência de fatores ambientais, como o clima e o *terroir*, sobre sua composição. Embora estudos experimentais indiquem atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e metabólicas, a baixa biodisponibilidade sistêmica de determinadas estruturas e a influência da biotransformação intestinal representam aspectos relevantes para a compreensão de seus efeitos biológicos (Pastrana Bonilla; Gutiérrez Guzmán, 2009; de Andrade et al., 2013; LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023). Dessa forma, a investigação das antocianinas exige uma abordagem integrada, que considere desde suas propriedades químicas e formas de obtenção até os mecanismos de ação e os critérios necessários para assegurar a qualidade dos produtos desenvolvidos.

Diante desse cenário, é necessário compreender como os avanços nas técnicas analíticas e nos processos de obtenção podem

contribuir para superar limitações relacionadas à preservação, à identificação e à padronização das antocianinas, favorecendo sua aplicação nos setores alimentício e farmacêutico. Devido ao crescente interesse científico e industrial na utilização de compostos bioativos de origem vegetal, especialmente aqueles provenientes do aproveitamento de resíduos agroindustriais, a compreensão dos métodos de extração e caracterização, assim como das evidências disponíveis sobre as propriedades terapêuticas das antocianinas, contribuem para o desenvolvimento de processos mais eficientes, sustentáveis e reprodutíveis. Além disso, a discussão dos parâmetros de controle de qualidade é fundamental para a obtenção de extratos com composição conhecida e maior confiabilidade, ampliando as possibilidades de aplicação desses compostos em produtos alimentícios, nutracêuticos e farmacêuticos.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo sintetizar criticamente a literatura científica acerca do perfil químico e da diversidade estrutural das antocianinas, dos métodos analíticos de caracterização e purificação, da influência do *terroir* e das tecnologias convencionais e emergentes de extração, assim como de seu potencial terapêutico e dos critérios de controle de qualidade. Por meio dessa abordagem, buscou-se reunir e relacionar os conhecimentos disponíveis, destacando os avanços, as limitações e as perspectivas para o aproveitamento desses compostos.

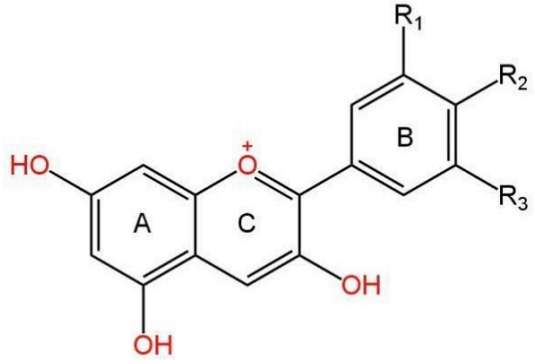
2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Antocianinas: Características Químicas e Polimorfismo de pH

As antocianinas possuem como esqueleto central o cátion 2-fenilbenzopirilium, composto por dois anéis aromáticos (A e B)

acoplados a um heterocíclico oxigenado insaturado (C) (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025). O anel C, positivamente carregado, atua como o cromóforo primário responsável pela absorção na região visível do espectro eletromagnético (LI et al., 2026). A variabilidade estrutural das agliconas (antocianidinas) é ditada pelos graus de hidroxilação e metoxilação no anel B, originando as seis estruturas fundamentais: cianidina, delfinidina, pelargonidina, peonidina, petunidina e malvidina (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023). Enquanto a adição de hidroxilas (ex: delfinidina) pode favorecer a atividade antioxidante, a metoxilação (ex: malvidina) modifica as propriedades físico-químicas e a estabilidade dos pigmentos (LI et al., 2026).

Figura 1. A estrutura química central das antocianidinas: dois anéis aromáticos (A e B) acoplados a um heterocíclico oxigenado insaturado (C).



Em soluções aquosas, as antocianinas apresentam um equilíbrio entre diferentes formas estruturais, cuja distribuição depende do pH do meio. (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025). Em condições altamente ácidas (pH < 2), prevalece de forma absoluta o cátion flavílio, de coloração vermelha intensa (LI et al., 2026). Quando o pH aumenta para faixas moderadamente ácidas (pH 3 a 5), dois processos ocorrem simultaneamente: a desprotonação do cátion flavílio resulta na formação da base quinoidal de cor azul/violeta, enquanto o ataque nucleofílico da água na posição C2 do heterociclo (pH 4 a 6) leva à formação da pseudobase carbinol (incolor) (LI et al., 2026;

Nollet; Ötleş, 2025). Subsequentemente, a pseudobase carbinol sofre tautomerização com abertura do anel C, produzindo as formas chalconas (amarelo claro), predominantemente sob alcalinidade (pH > 7), as quais são altamente expostas à degradação irreversível (LI et al., 2026).

A glicosilação (ligação de açúcares nas posições C3, C5 ou C7) e a acilação dos resíduos de monossacarídeos com ácidos aromáticos (como p-cumárico, caféico, ferúlico) ou alifáticos (como malônico, acético) contribuem para a estabilização termodinâmica dessa rede de equilíbrio. A acilação favorece a copigmentação intramolecular por meio do empilhamento hidrofóbico π-π entre o núcleo flavílio e o anel aromático do acila, além de atuar como um impedimento estérico na posição C2, inibindo a hidratação aquosa. Esse fenômeno impede a transformação na pseudobase carbinol incolor e mantém a cor do pigmento em níveis de pH menos ácidos (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023).

2.2. Caracterização Cromatográfica, MS/MS e Purificação por SPE (Extração em Fase Sólida)

A análise estrutural de antocianinas em extratos vegetais complexos baseia-se na Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) ou de Ultra-Eficiência (UHPLC), acoplada à Espectrometria de Massas em Tandem (MS/MS) com ionização por electrospray no modo positivo (ESI^+) (Xue et al., 2026; Yuzuak et al., 2023). O método cromatográfico requer fases móveis formadas por gradientes de água e acetonitrila, acidificados com 0,1% a 1,0% de ácido fórmico ou ácido fosfórico. É necessário manter o pH abaixo de 2,0 para garantir que o analito permaneça na forma cátion flavílio estável durante a separação (Xue et al., 2026; Yang; Kilmartin, 2025).

Na varredura por ESI^+ -MS/MS, a fragmentação por dissociação induzida por colisão (CID) gera perdas neutras diagnósticas correspondentes às frações de carboidratos ligadas à estrutura central, permitindo identificar monossacarídeos (perda neutra de 162 Da para hexoses como glicose/galactose), desoxi-hexoses (perda de 146 Da para rhamnose) e pentoses (perda de 132 Da para arabinose/xilose) (Yuzuak et al., 2023; Yang; Kilmartin, 2025). Além disso, a presença de substituintes acilados é revelada por íons fragmentos específicos, como a fração p -cumaroil em massa/carga (*m/z*) 147 (LI et al., 2026; Yang; Kilmartin, 2025). As agliconas remanescentes são identificadas por suas razões *m/z* características: delfinidina (*m/z* 303), cianidina (*m/z* 287), petunidina (*m/z* 317), peonidina (*m/z* 301) e malvidina (*m/z* 311) (Yuzuak et al., 2023; Yang; Kilmartin, 2025).

Para o isolamento e purificação de antocianinas em alta escala (atingindo patamares de até 99%), o protocolo desenvolvido pela EMBRAPA estabelece a Extração em Fase Sólida (SPE) sequencial em múltiplos cartuchos (Santiago et al., 2018). O processo começa com a passagem do extrato bruto por cartuchos C18, que realizam a retenção hidrofóbica e a remoção de interferentes polares solúveis em água, como açúcares livres e sais (Santiago et al., 2018). Em seguida, o eluato é colocado em cartuchos de troca catiônica forte (Oasis MCX), nos quais os grupos sulfônicos interagem eletrostaticamente de maneira seletiva com o cátion flavílio retido no sorvente. Essa fase possibilita a lavagem minuciosa de compostos neutros e ácidos orgânicos não carregados utilizando água acidificada e metanol puro. Isso resulta na eluição seletiva das antocianinas purificadas por meio de soluções metanólicas alcalinizadas ou tamponadas, com um polimento final realizado em Sep-Pak C18 (Santiago et al., 2018).

2.3. Antocianinas em Matrizes de Uva (*Vitis Vinifera* Vs. *Vitis Rotundifolia*) E Efeito do *Terroir*

A distribuição e a diversidade estrutural das antocianinas em uvas apresentam diferenças relacionadas à espécie botânica e à cultivar analisada. As uvas da espécie *Vitis vinifera*, como Merlot e Syrah, apresentam predominantemente antocianinas 3-monoglicosiladas, que podem ocorrer em formas não aciladas ou aciladas. Em contrapartida, as uvas muscadinas (*Vitis rotundifolia*) caracterizam-se pela presença expressiva de antocianinas 3,5-diglicosiladas (de Andrade et al., 2013; Pastrana Bonilla; Gutiérrez Guzmán, 2009).

Em estudo sobre dez cultivares de uvas muscadinas, Pastrana Bonilla e Gutiérrez Guzmán (2009) identificaram a delfinidina-3,5-diglicosídeo como a antocianina predominante, correspondendo a aproximadamente 46% do conteúdo total desses pigmentos. Também foram identificadas petunidina-3,5-diglicosídeo e malvidina-3,5-diglicosídeo, representando aproximadamente 23% e 20%, respectivamente. Esses resultados evidenciam a predominância de estruturas diglicosiladas nessa espécie e demonstram a diversidade do perfil antociânico entre diferentes matrizes de uva.

Além das diferenças relacionadas à espécie, as condições ambientais e geográficas de cultivo, frequentemente reunidas no conceito de *terroir*, também podem influenciar a composição de antocianinas. De Andrade et al. (2013), ao investigarem vinhos tintos brasileiros de diferentes regiões por cromatografia líquida de alta eficiência associada à análise quimiométrica, identificaram diferenças nos perfis de antocianinas entre as amostras. Os vinhos provenientes do Vale do São Francisco apresentaram maiores concentrações de

antocianinas aciladas, indicando uma possível influência das condições climáticas e ambientais sobre as rotas biossintéticas desses pigmentos. Entretanto, os autores destacam a necessidade de investigações adicionais para esclarecer os mecanismos específicos envolvidos nessas diferenças.

O bagaço de uva, subproduto do processamento vinícola constituído principalmente por cascas, sementes e resíduos de polpa, representa uma matriz de interesse para a recuperação de compostos fenólicos. Nesse contexto, Yang e Kilmartin (2025) investigaram a extração de antocianinas e outros compostos bioativos do bagaço de uvas Merlot, demonstrando a importância da otimização das condições de processamento para o aproveitamento dessa biomassa. Assim, as diferenças entre espécies, cultivares e regiões de cultivo devem ser consideradas na caracterização química e na escolha de estratégias de obtenção de extratos ricos em antocianinas.

2.4. Evidências Científicas Sobre o Potencial Terapêutico

A compreensão farmacológica dos efeitos promovidos pelas antocianinas evoluiu da verificação da capacidade antioxidante in vitro para a elucidação da modulação de cascatas celulares e alvos transcricionais (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023). Na resposta ao estresse oxidativo, o mecanismo central envolve a ativação do eixo Keap1-Nrf2-ARE (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023). As antocianinas e seus metabólitos podem interferir na interação entre Keap1 e Nrf2, favorecendo a estabilização de Nrf2 e sua translocação nuclear. Esse processo contribui para a ativação da resposta antioxidante endógena, embora os mecanismos moleculares específicos envolvidos possam variar conforme a estrutura do composto e suas

transformações metabólicas (LI et al., 2026). Este se liga ao elemento de resposta antioxidante (ARE), induzindo a expressão de enzimas citoprotetoras de Fase II, englobando a heme oxigenase-1 (HO-1), $NAD(P)H$ quinona oxidorredutase 1 (NQO1), e a família das glutationa S-transferases (GSTs) (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023).

A atividade anti-inflamatória ocorre por meio do bloqueio coordenado das vias da proteína quinase ativada por mitógeno (MAPK) e do fator nuclear kappa B (NF-κB) (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023). As antocianinas inibem a fosforilação do complexo IκB quinase (IKK), impedindo a degradação proteassômica do IκBα e a subsequente translocação da subunidade p65 do NF-κB ao núcleo (LI et al., 2026). Concomitantemente, suprimem a fosforilação de cinases da cascata MAPK (ERK, JNK e p38), resultando no bloqueio da transcrição de mediadores pró-inflamatórios como TNF- α , IL-1 β , IL-6, ciclo-oxigenase-2 (COX-2) e óxido nítrico sintase induzível (iNOS) (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023).

No âmbito metabólico e cardiovascular, as antocianinas ativam a proteíno-quinase ativada por AMP (AMPK), estimulando a oxidação de ácidos graxos e reprimindo a lipogênese de novo por meio do desmonte do fator transcricional SREBP-1c e modulação dos receptores nucleares PPAR α e PPAR γ (LI et al., 2026). Simultaneamente, potenciam a cascata PI3K/Akt/eNOS no endotélio vascular, aumentando a liberação de óxido nítrico (NO) e favorecendo a translocação do transportador GLUT4 para a membrana plasmática em tecidos sensíveis à insulina (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

Dada a restrita biodisponibilidade sistêmica direta dos cátions flavílio intactos (< 2% da dose ingerida), a catabolização microbiológica no

cólon assume papel de destaque (LI et al., 2026). A clivagem do anel C das antocianinas (como a cianidina-3-glicosídeo) por enzimas da microbiota intestinal gera o ácido protocatéquico (PCA, ácido 3,4-di-hidroxi-benzoico) como metabólito chave de elevada bioacessibilidade (LI et al., 2026). O PCA e os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) produzidos por fermentação estimulam os receptores hospedeiros GPR41/43 e FXR, exercendo profilaxia tecidual sistêmica e protegendo órgãos-alvo contra a lipotoxidade hepática e a disfunção vascular (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025; Yuzuak et al., 2023).

2.5. Relação Entre Caracterização Cromatográfica, Potencial Farmacológico e Controle de Qualidade

A verificação do potencial bioativo das antocianinas requer rigorosa consistência analítica na caracterização de matérias-primas e produtos comerciais (Xue et al., 2026; Jaspers et al., 2026). Uma avaliação de controle de qualidade conduzida no mercado belga com 13 suplementos alimentares comerciais formulados a partir de extratos ricos em antocianinas revelou que apenas 54% das amostras analisadas apresentavam autenticidade cromatográfica entre o perfil de referência polifenólico declarado no rótulo e o conteúdo real medido por HPLC-DAD-MS/MS (Jaspers et al., 2026).

Essa taxa de inconformidade comercial evidencia o risco contínuo de falsificações, possível utilização de corantes sintéticos não declarados para mascarar a degradação e variações consideráveis nos níveis de antocianinas monoméricas em decorrência de armazenamento ou processamento inadequados (Jaspers et al., 2026). Para reduzir essas fragilidades, as diretrizes internacionais de harmonização analítica para metodologias de HPLC (incluindo as

farmacopéias da China, Estados Unidos e Europa) demandam a validação rigorosa dos parâmetros de seletividade, faixa de linearidade ($r^2 > 0,999$), limites de detecção e quantificação, além da comprovação da estabilidade dos analitos sob fase móvel acidificada (Xue et al., 2026).

A adoção de métodos cromatográficos ambientalmente sustentáveis ("verdes"), que se distinguem pela substituição de solventes clorados ou tóxicos por etanol ou fases aquosas acidificadas com ácidos orgânicos fracos, contribui para assegurar a reprodutibilidade da composição monomérica e acilada de lote a lote (Xue et al., 2026; Jaspers et al., 2026). A padronização de *fingerprints* cromatográficos constitui uma ferramenta importante para a caracterização, autenticação e controle de qualidade de formulações contendo antocianinas. Entretanto, a segurança do consumidor e a eficácia terapêutica dependem de avaliações complementares, incluindo a caracterização dos constituintes, a investigação de contaminantes e a demonstração de segurança e atividade biológica apropriadas à finalidade do produto (Xue et al., 2026; Jaspers et al., 2026).

2.6. Síntese Crítica e Lacunas da Literatura

A análise integrada das referências evidencia que, apesar do crescente interesse científico e industrial pelas antocianinas, sua aplicação ainda enfrenta desafios relacionados à estabilidade química, à padronização analítica e à obtenção de extratos com composição reprodutível. Estes pigmentos apresentam sensibilidade a fatores como pH, temperatura, oxigênio e condições de processamento, que podem modificar sua estrutura química e comprometer a intensidade da coloração e a conservação dos

compostos. Dessa forma, o desenvolvimento de métodos de extração, caracterização e armazenamento capazes de preservar suas propriedades representa uma etapa fundamental para ampliar suas aplicações em alimentos e produtos de interesse farmacêutico (Nollet; Ötleş, 2025; LI et al., 2026).

No contexto do potencial terapêutico, estudos apontam que as antocianinas podem atuar na modulação de mecanismos relacionados ao estresse oxidativo e à resposta inflamatória, incluindo as vias de sinalização Keap1-Nrf2 e NF-κB. Entretanto, a interpretação desses efeitos deve considerar as transformações metabólicas que ocorrem após a ingestão. Apenas uma pequena parcela das antocianinas ingeridas mantém sua estrutura química original no organismo, sendo que aproximadamente 1 a 2% pode permanecer na forma parental, enquanto o restante sofre modificações metabólicas ou é convertido em outros metabólitos. Portanto, esse percentual não deve ser interpretado diretamente como a biodisponibilidade sistêmica total dos compostos, mas como a proporção que conserva sua estrutura original (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

Entre os produtos do metabolismo das antocianinas, destacam-se os metabólitos fenólicos formados durante a transformação intestinal e pela ação da microbiota, como o ácido protocatéquico. Essas substâncias apresentam interesse biológico e podem contribuir para os efeitos atribuídos às antocianinas. Contudo, ainda são necessárias investigações que esclareçam a participação desses metabólitos nos efeitos observados *in vivo*, considerando também as diferenças individuais relacionadas ao metabolismo e à composição da microbiota intestinal (LI et al., 2026).

Outro aspecto relevante refere-se à qualidade e à padronização dos extratos e produtos comercializados. Técnicas de extração em fase sólida SPE podem ser empregadas na purificação e concentração de antocianinas. Santiago et al. (2018) demonstraram a aplicação combinada de diferentes etapas de separação para a obtenção de um extrato antociânico purificado a partir do fruto da amendoeira, no qual a cianidina-3-O-glicosídeo apresentou pureza de 99%. Entretanto, esse resultado deve ser interpretado considerando a matriz vegetal e as condições experimentais específicas do estudo, não sendo diretamente generalizável para extratos de bagaço de uva. Além disso, uma investigação realizada com 13 suplementos comercializados na Bélgica identificou que apenas 54% apresentaram perfil compatível com a autenticidade esperada, evidenciando a importância do controle de qualidade, da validação dos métodos analíticos e da correspondência entre a composição declarada e a composição efetiva dos produtos (Jaspers et al., 2026).

A caracterização adequada das antocianinas também depende da utilização de métodos analíticos capazes de diferenciar e quantificar os compostos presentes nas amostras. Nesse sentido, a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), associada à detecção por espectrometria de massas, constitui uma ferramenta importante para a identificação dos perfis individuais de antocianinas. A padronização dos procedimentos cromatográficos é especialmente relevante para garantir maior confiabilidade e comparabilidade entre os resultados obtidos em diferentes estudos (Xue et al., 2026; Yuzuak et al., 2023). Além disso, diferenças observadas na composição antociânica de vinhos provenientes de distintas regiões demonstram que fatores como origem geográfica, variedade de uva e condições de cultivo podem influenciar os perfis químicos encontrados nas uvas e em seus derivados (de Andrade et al., 2013).

Em relação ao aproveitamento de resíduos agroindustriais, o bagaço de uva representa uma matriz promissora para a recuperação de antocianinas, uma vez que pode conservar quantidades relevantes desses pigmentos após o processamento da fruta. Estudos com bagaço de uvas Merlot demonstram a possibilidade de otimizar a recuperação desses compostos por meio de estratégias de extração assistida por micro-ondas (MAE), reforçando o potencial de valorização desse subproduto (Yang; Kilmartin, 2025). Nesse cenário, métodos de extração alternativos, associados à seleção adequada de solventes e ao controle das condições operacionais, representam possibilidades para melhorar o rendimento e preservar a qualidade dos extratos. Entretanto, a escolha do método deve considerar as características da matriz, a estabilidade dos pigmentos e a viabilidade de aplicação em escala industrial (Nollet; Ötleş, 2025).

Diante dessas evidências, observa-se que ainda existem lacunas importantes relacionadas à padronização dos métodos de extração e quantificação, à estabilidade dos extratos durante o armazenamento e à compreensão da relação entre composição química, metabolismo e efeitos biológicos das antocianinas. Também se destaca a necessidade de ampliar estudos que utilizem resíduos de uva como matéria-prima, com protocolos analíticos validados e resultados comparáveis. Assim, o avanço das pesquisas nessa área depende da integração entre química analítica, tecnologia de extração e investigação farmacológica, permitindo avaliar com maior segurança o potencial de aplicação das antocianinas em produtos alimentícios e farmacêuticos.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão narrativa da literatura, desenvolvida com o objetivo de reunir e analisar publicações científicas sobre as antocianinas presentes em espécies de uvas, com ênfase em sua caracterização química, nos métodos de extração e análise cromatográfica, na quantificação desses compostos e nas evidências científicas relacionadas ao seu potencial terapêutico.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), Scopus, PubMed e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), selecionadas em razão de sua abrangência e relevância na indexação de publicações científicas das áreas de saúde, ciências biológicas, química e farmacologia.

Para a identificação e organização dos estudos pertinentes, as publicações foram agrupadas em três eixos temáticos: (i) química, extração e análise de antocianinas em frutas e alimentos; (ii) características das espécies de uva e suas aplicações; e (iii) evidências científicas relacionadas aos possíveis efeitos das antocianinas à saúde. Foram considerados como critérios de inclusão artigos científicos e publicações relevantes para os objetivos da revisão, disponíveis nos idiomas português, inglês ou espanhol. Foi dada prioridade a estudos publicados nos últimos cinco anos, sem excluir trabalhos anteriores considerados importantes para a fundamentação teórica e a contextualização de aspectos específicos das antocianinas. A seleção também considerou a pertinência dos estudos em relação aos objetivos da revisão, à matriz vegetal investigada e às informações apresentadas sobre os compostos de interesse.

As publicações selecionadas foram analisadas qualitativamente, considerando seus objetivos, métodos empregados, principais resultados e limitações. A análise contemplou aspectos relacionados à estrutura química das antocianinas, aos métodos de extração e às condições cromatográficas utilizadas para sua identificação e quantificação. Também foram considerados os resultados de análises quimiométricas, quando disponíveis, e as evidências sobre possíveis mecanismos de ação biológica descritos em estudos in vitro e in vivo.

Quando disponíveis, os resultados quantitativos foram considerados de acordo com as unidades e os padrões de referência utilizados em cada estudo. Para a interpretação dos dados, foram observadas as diferenças entre as matrizes vegetais, os métodos analíticos e as condições experimentais, evitando comparações diretas entre resultados obtidos por procedimentos distintos.

4. COMPARAÇÃO DETALHADA DOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO

4.1. Métodos Convencionais (Maceração e Soxhlet)

Os métodos convencionais de extração de antocianinas baseiam-se na transferência dos compostos presentes na matriz vegetal para uma fase líquida, por meio de processos de solubilização e difusão. Para essa finalidade, são frequentemente empregados solventes polares, como água, etanol e metanol, isolados ou em misturas aquosas. A acidificação do meio extrator também pode ser utilizada para favorecer a manutenção das antocianinas na forma de cátion flavílio, contribuindo para sua estabilidade durante o processo. Entre os agentes acidificantes empregados estão os ácidos clorídrico, fórmico e cítrico, cuja escolha depende das características da matriz

vegetal e das condições experimentais (Nollet; Ötleş, 2025; Yang; Kilmartin, 2025).

A maceração consiste na imersão da matriz vegetal em um solvente extrator durante determinado período, permitindo a difusão dos compostos de interesse para a fase líquida. Geralmente realizada à temperatura ambiente, essa técnica apresenta como vantagens a simplicidade operacional e a possibilidade de preservar compostos sensíveis ao calor. Entretanto, pode exigir períodos prolongados de extração, dependendo das características da matéria-prima e das condições empregadas (Nollet; Ötleş, 2025). Em estudo com bagaço de uvas Merlot, Yang e Kilmartin (2025) avaliaram sistemas de extração convencionais utilizando diferentes solventes e agentes acidificantes, com ciclos de 24 horas à temperatura ambiente e renovação do solvente entre os ciclos.

A extração por Soxhlet, por sua vez, caracteriza-se pela circulação contínua do solvente aquecido sobre a amostra, por meio de ciclos sucessivos de vaporização, condensação e sifonagem. Embora permita o contato repetido do solvente com a matriz vegetal, o aquecimento prolongado pode comprometer a estabilidade de compostos termossensíveis, como as antocianinas, cuja degradação é influenciada por fatores como temperatura, pH e exposição ao oxigênio. Assim, embora seja um método convencional de extração, sua aplicação na obtenção de antocianinas exige atenção às condições operacionais, considerando a necessidade de preservar a integridade química dos pigmentos (Nollet; Ötleş, 2025).

4.2. Extração Assistida por Micro-Ondas

A Extração Assistida por Micro-ondas baseia-se no princípio do aquecimento dielétrico volumétrico, no qual a radiação eletromagnética interage diretamente com os dipolos das moléculas de água e íons presentes no meio intra e extracelular (Nollet; Ötleş, 2025; Yang; Kilmartin, 2025). O aquecimento localizado e rápido vaporiza a água celular de forma instantânea, criando uma pressão interna significativa que rompe as paredes celulares e os vacúolos da matriz do bagaço de uva, liberando o conteúdo fenólico (Yang; Kilmartin, 2025).

Em estudo experimental padronizado com sistema de digestão por micro-ondas ETHOS™ UP High-Performance, operando com potência inicial de 500 W até atingir 60°C em 10 minutos, seguida de potência modulada (0–157 W) mantida por 60 minutos a 60°C e resfriamento forçado a 30°C por 10 minutos, a extração de bagaço de Merlot pré-tratado por liofilização com pré-lavagem aquosa (condição SRT105-MW) em EtOH 50% acidificado com HCl 0,1 N alcançou máximos históricos de rendimento por massa seca (Yang; Kilmartin, 2025):

- Fenóis Totais: 8,07 g EAG/100g de bagaço seco;
- Taninos Totais: 5,76 g EEC/100g de bagaço seco;
- Antocianinas Totais: 3,70 g/kg de bagaço seco;
- Antocianinas Monoméricas Totais: 2,80 g/kg de bagaço seco.

O perfil individual dos pigmentos monoméricos recuperados sob essa condição otimizada no SRT105-MW exibiu expressivas concentrações: malvidina-3-glicosídeo (585 mg/kg), peonidina-3-glicosídeo (560 mg/kg), cianidina-3-glicosídeo (463 mg/kg),

delfinidina-3-glicosídeo (360 mg/kg) e petunidina-3-glicosídeo (257 mg/kg), além de frações aciladas (66–99 mg/kg) e cumaroyladas (37–60 mg/kg) (Yang; Kilmartin, 2025). O emprego sustentável de ácido cítrico no meio extrativo (50% EtOH CA) manteve cerca de 90% da eficiência obtida com HCl (~3,30 g/kg antocianinas totais) (Yang; Kilmartin, 2025).

4.3. Extração Assistida por Ultrassom

A Extração Assistida por Ultrassom (UAE) baseia-se no fenômeno da cavitação acústica, provocado pela propagação de ondas mecânicas de alta frequência através do meio líquido. Durante esse processo, os ciclos alternados de compressão e rarefação promovem a formação, o crescimento e o colapso de microbolhas no solvente, gerando alterações físicas que favorecem a extração dos compostos presentes na matriz vegetal (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

O colapso dessas bolhas produz efeitos mecânicos, como microjatos de líquido e ondas de choque, que favorecem a ruptura das paredes celulares e aumentam a permeabilidade da matriz vegetal. Consequentemente, ocorre maior penetração do solvente e intensificação da transferência de massa, facilitando a liberação das antocianinas para a fase líquida. Dessa forma, a UAE pode aumentar a eficiência da extração e reduzir o tempo de processamento em comparação com métodos convencionais. Entretanto, sua eficiência e a estabilidade dos pigmentos dependem de fatores como potência do ultrassom, temperatura, tempo de exposição, pH e composição do solvente, que devem ser controlados durante o procedimento (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

4.4. Extração por Fluido Supercrítico e Líquido Pressurizado

A Extração por Fluido Supercrítico (SFE) utiliza o dióxido de carbono (CO_2) elevado acima de sua temperatura (31,1°C) e pressão (73,8 bar) críticas, adquirindo propriedades intermediárias entre líquido e gás (Nollet; Ötleş, 2025). Como o CO_2 supercrítico possui caráter apolar, torna-se indispensável a adição de cossolventes polares (como etanol ou misturas hidroetanólicas acidificadas) em proporções de 5% a 20% para conferir capacidade de solvatação em relação aos cátions flavílio e formas glicosiladas (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

A Extração por Líquido Pressurizado (PLE) utiliza solventes líquidos mantidos sob pressões elevadas (10 a 15 MPa) e temperaturas controladas (50 a 150 °C) (Nollet; Ötleş, 2025). A pressão elevada mantém o solvente no estado líquido bem acima do seu ponto de ebulição habitual, diminuindo a viscosidade e a tensão superficial e ampliando drasticamente a capacidade de penetração do solvente nos poros da matriz vegetal (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

4.5. Solventes Eutéticos Profundos Naturais (DES/NADES)

Os Solventes Eutéticos Profundos Naturais (NADES) representam uma alternativa promissora alinhada aos preceitos da química verde (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025). Os NADES são sintetizados pela mistura em proporções molares bem definidas entre aceptores de ligação de hidrogênio (ex: cloreto de colina) e doadores de ligação de hidrogênio (ex: açúcares como glicose e frutose, ou ácidos orgânicos como cítrico, málico e lático) (LI et al., 2026).

A rede tridimensional de ligações de hidrogênio formada confere elevada seletividade de extração e uma matriz protetora que envolve o cátion flavílio, inibindo as reações de hidratação em C2 e a

degradação oxidativa durante o processamento (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025). Suas limitações principais incluem a alta viscosidade do meio e a complexidade na etapa final de recuperação do analito purificado (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

4.6. Extração Assistida por Enzimas (EAE)

Na Extração Assistida por Enzimas (EAE), o material vegetal passa por um tratamento preliminar com complexos biocatalíticos formados por enzimas como pectinases, celulases e hemicelulases. Essas enzimas hidrolisam as paredes celulares, liberando fitoquímicos que estão ligados a cadeias de lipídios e carboidratos no interior das células (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

As antocianinas obtidas por meio da EAE não apenas apresentaram um teor maior, mas também expressaram maior estabilidade em comparação com aquelas extraídas por métodos tradicionais. Uma solução aquosa de Pectinex (contendo celulase, hemicelulase e pectinase), em concentrações de 1 a 10% a uma temperatura de 40°C, foi utilizada para extrair antocianinas de tépalas de açafrão. O teor de antocianinas na solução de Pectinex atingiu um valor com mais de 40% superior ao obtido pelo método com etanol, considerando uma concentração enzimática de 5% e um tempo de extração de 60 minutos (Nollet; Ötleş, 2025).

As antocianinas extraídas com o auxílio de enzimas em meio aquoso apresentaram taxas de degradação três vezes mais lentas e uma cor 50% mais vibrante em comparação com as recuperadas utilizando etanol, após 3 horas de extração. A análise por HPLC indicou que as antocianinas extraídas com uma mistura de enzimas continham cerca de 80% a mais de cianidina-3-glucosídeo e 20% a menos de

pelargonidina-3,5-glucosídeo em comparação com o método utilizando etanol (Nollet; Ötleş, 2025).

A EAE é um método energeticamente eficiente e ambientalmente amigável para a extração seletiva de produtos-alvo, sem comprometer suas propriedades funcionais. Essa técnica evita o uso de solventes agressivos ou estresse térmico, preservando a integridade das frações monoméricas e aciladas (Nollet; Ötleş, 2025).

Tabela 1. Comparação Geral dos Métodos de Extração de Antocianinas

Método de Extração	Princípio de Ação	Principais Vantagens	Desvantagens e Limitações
Maceração e Percolação	Difusão passiva por gradiente de concentração soluto-solvente	Baixo custo instrumental e operação simples sem equipamentos complexos	Processo muito lento, elevado consumo de solventes orgânicos e risco de degradação. Rendimento moderado a baixo.
Extração Soxhlet	Refluxo térmico contínuo com renovação constante do solvente	Extração exaustiva em sistema fechado com alta repetibilidade	Severa degradação térmica do cátion flavílio e perda de monômeros
Assistida por Micro-ondas (MAE)	Condução iônica e relaxamento dipolar com ruptura celular por pressão	Redução drástica do tempo, elevada taxa de transferência de massa e baixo uso de solvente. Opção mais ecológica e	Risco de degradação térmica local se Temp > 70 °C; exige controle estrito

		com melhor relação custo-benefício	
Assistida por Ultrassom (UAE)	Cavitação acústica e microjatos que desestruturam as membranas vegetais	Rápido, sustentável, energeticamente eficiente e operado a temperaturas brandas. Excelente preservação dos glicosídeos.	Dissipação térmica requer refrigeração contínua para evitar aquecimento do meio
Fluido Supercrítico (SFE)	Solubilização em CO_2 supercrítico com co-solvente polar (etanol/água)	Solvente atóxico (GRAS), inibe enzimas oxidativas e não deixa resíduos. Ausência do uso de luz e oxigênio. Baixa temperatura	CO_2 puro não extrai antocianinas polares sem modificador; alto custo de equipamentos
Líquidos Pressurizados (PLE)	Solubilização líquida sob alta pressão mantendo o solvente abaixo do ponto de ebulição	Tempos curtos de extração, menor consumo de solvente e alta automação	Equipamento de alto custo e risco de degradação térmica em temperaturas elevadas
Solventes Eutéticos (DES/NADES)	Redes supramoleculares de pontes de H com alta afinidade por polifenóis	Solventes ecológicos, não voláteis, biodegradáveis e estabilizadores.	Alta viscosidade dificulta etapas posteriores de filtração e purificação cromatográfica
Assistida por Enzimas (EAE)	Hidrólise enzimática das paredes celulares (pectina e celulose)	Condições extremamente brandas; preserva a integridade molecular e bioatividade. Geralmente nãp precisa de solventes	Custo elevado das preparações enzimáticas e necessidade de controle estrito de condições para enzimas específicas.

Fonte: LI et al., 2026; NOLLET; ÖTLEŞ, 2025.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

A análise das publicações selecionadas permitiu identificar avanços relacionados à obtenção, à caracterização química e à aplicação das antocianinas, bem como limitações que ainda dificultam sua utilização em produtos alimentícios e farmacêuticos. Os resultados demonstram que a eficiência de extração não depende exclusivamente da tecnologia empregada, mas também da composição da matriz vegetal, das características estruturais dos pigmentos e das condições operacionais utilizadas. Além disso, a confiabilidade dos resultados depende da adoção de métodos analíticos capazes de identificar e quantificar os compostos de maneira reprodutível.

5.1. Eficiência Comparativa dos Métodos de Extração

A comparação dos métodos apresentados na Tabela 1 evidencia que não existe uma técnica universalmente superior para a obtenção de antocianinas. A escolha depende de fatores como a natureza da matriz vegetal, a composição do solvente, o tempo de processamento, a temperatura, o rendimento desejado e a preservação da estrutura química dos pigmentos. Enquanto os métodos convencionais apresentam maior simplicidade operacional, as tecnologias emergentes podem favorecer a transferência de massa e reduzir o tempo de extração, embora frequentemente exijam equipamentos mais específicos e maior investimento inicial (Nollet; Ötleş, 2025).

Essa diferença pode ser observada no estudo de Yang e Kilmartin (2025), realizado com bagaço de uvas Merlot. Na etapa de extração

convencional, a utilização de etanol a 50% acidificado com ácido clorídrico apresentou o maior rendimento entre os solventes avaliados, alcançando 0,66 g/kg de antocianinas totais após oito ciclos de extração de 24 horas cada. Posteriormente, a combinação de liofilização e pré-lavagem aquosa aumentou a recuperação para 2,24 g/kg. Com a associação desse pré-tratamento à extração assistida por micro-ondas (SRT105-MW), o rendimento atingiu 3,70 g/kg de antocianinas totais, dos quais 2,80 g/kg correspondiam às antocianinas monoméricas (Yang; Kilmartin, 2025).

Esses resultados demonstram que a otimização do pré-tratamento da matéria-prima pode contribuir significativamente para o rendimento final, não sendo possível atribuir todo o aumento exclusivamente à aplicação das micro-ondas. A comparação entre as etapas do estudo indica que a combinação de diferentes estratégias de processamento favoreceu a recuperação dos pigmentos presentes no bagaço de uva. Além disso, os autores observaram que a substituição do ácido clorídrico pelo ácido cítrico permitiu alcançar aproximadamente 90% do rendimento obtido com o primeiro agente acidificante, indicando uma possibilidade de substituição do ácido forte por um acidificante orgânico mais adequado a determinadas aplicações (Yang; Kilmartin, 2025).

Em relação à extração assistida por ultrassom, a cavitação acústica favorece a ruptura de estruturas celulares e intensifica a transferência de massa, podendo reduzir o tempo de processamento e o consumo de solventes. Entretanto, os resultados reunidos por Nollet e Ötleş (2025) demonstram que sua eficiência varia conforme a matriz vegetal e as condições experimentais. Há estudos em que a UAE apresentou maior eficiência e rapidez, enquanto outros observaram resultados superiores com métodos

convencionais. Portanto, embora seja uma alternativa promissora, não se deve considerar o ultrassom como o método de maior rendimento em todas as situações.

A maceração, por sua vez, apresenta vantagens relacionadas à simplicidade e ao menor investimento em equipamentos, mas pode exigir períodos prolongados para alcançar uma extração satisfatória. Já o Soxhlet promove o contato repetido da amostra com o solvente aquecido, favorecendo a extração exaustiva de determinados compostos. Entretanto, a exposição prolongada ao calor representa uma limitação para a recuperação de substâncias termossensíveis, como as antocianinas, cuja estabilidade depende das condições de temperatura e pH (Nollet; Ötleş, 2025).

Dessa forma, a comparação dos métodos deve considerar não apenas o rendimento obtido, mas também a integridade dos pigmentos recuperados, o tempo de processamento e a viabilidade de aplicação em escala ampliada. Os dados de Yang e Kilmartin (2025) demonstram o potencial da associação entre pré-tratamento e MAE para o aproveitamento do bagaço de uva Merlot, enquanto a literatura compilada por Nollet e Ötleş (2025) reforça que a seleção da técnica deve ser adaptada às características de cada matéria-prima.

5.2. Influência da Estrutura Química e do Polimorfismo de pH na Estabilidade e Recuperação das Antocianinas

A estabilidade físico-química das antocianinas está diretamente relacionada à sua estrutura molecular, especialmente aos padrões de hidroxilação, metoxilação, glicosilação e acilação. Essas modificações influenciam tanto o comportamento dos pigmentos

em diferentes condições de processamento quanto sua resistência às reações de degradação. Dessa forma, a composição química da matéria-prima deve ser considerada na interpretação dos rendimentos de extração e na definição das condições mais adequadas para a obtenção de extratos ricos em antocianinas.

Um dos principais fatores que determinam a estabilidade desses compostos é o equilíbrio estrutural dependente do pH. Em condições fortemente ácidas, predomina o cátion flavílio, responsável pela coloração vermelha característica. Com o aumento do pH, podem ocorrer processos de desprotonação e hidratação, resultando na formação de bases quinoidais e pseudobases carbinol, respectivamente. Em condições mais alcalinas, a pseudobase pode sofrer abertura do anel C, originando estruturas do tipo chalcona, associadas à perda ou alteração da coloração. Essas transformações demonstram que a estabilidade das antocianinas depende diretamente das condições do meio, tornando o controle do pH um aspecto essencial durante a extração, a purificação e o armazenamento (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

A glicosilação também exerce influência significativa sobre a estabilidade dos pigmentos. As espécies de *Vitis vinifera*, como Merlot e Syrah, apresentam predominantemente antocianinas 3-monoglicosiladas, enquanto as uvas muscadinas (*Vitis rotundifolia*) se caracterizam pela presença de estruturas 3,5-diglicosiladas. Segundo Pastrana Bonilla e Gutiérrez Guzmán (2009), a delfinidina-3,5-diglucosídeo representa uma fração importante do perfil antociânico das muscadinas, correspondendo a 46% do teor total relatado no documento de discussão. A presença de um segundo resíduo de açúcar na posição C5 contribui para a proteção da

estrutura contra reações de hidratação, favorecendo sua estabilidade em meio aquoso.

Essa diferença estrutural é relevante para a seleção da matéria-prima destinada à obtenção de extratos. Embora o bagaço de *Vitis vinifera* apresente potencial de aproveitamento, suas antocianinas monoglicosiladas podem apresentar maior suscetibilidade a alterações estruturais em determinadas condições de processamento. Em contrapartida, a presença de diglicosídeos em *Vitis rotundifolia* representa uma característica favorável à estabilidade dos pigmentos. Portanto, a composição quimiotaxonômica da espécie vegetal pode influenciar diretamente a qualidade e a conservação dos extratos obtidos (Pastrana Bonilla; Gutiérrez Guzmán, 2009; Yang; Kilmartin, 2025).

A acilação constitui outro mecanismo importante de estabilização. A ligação de grupos derivados de ácidos aromáticos, como os ácidos hidroxicinâmicos, aos resíduos de açúcar das antocianinas pode favorecer a copigmentação intramolecular. Esse fenômeno ocorre pela interação entre os anéis aromáticos do grupo acila e o núcleo flavílio, formando uma disposição que dificulta o acesso da água à posição C2 e reduz a formação de estruturas incolores. Dessa maneira, as antocianinas aciladas podem apresentar maior resistência às alterações de pH e temperatura em comparação com formas não aciladas (LI et al., 2026; Yuzuak et al., 2023).

A influência das condições ambientais sobre a composição dos pigmentos também merece destaque. De Andrade et al. (2013), ao investigarem a composição antociânica de vinhos tintos brasileiros e sua relação com diferentes regiões de produção, demonstraram que fatores associados ao *terroir* podem contribuir para a diferenciação

dos perfis químicos. As amostras provenientes do Vale do São Francisco, região de clima tropical semiárido, apresentaram características distintas daquelas produzidas em regiões de clima temperado, como o Rio Grande do Sul e o Chile. Essas diferenças foram associadas à distribuição dos pigmentos e ao grau de acilação, indicando que as condições geográficas e edafoclimáticas podem influenciar as rotas metabólicas envolvidas na formação das antocianinas.

Esses resultados reforçam que a recuperação das antocianinas não depende apenas da eficiência do método de extração, mas também da composição química da matéria-prima e da estabilidade particular de cada estrutura. A presença de diferentes formas glicosiladas e aciladas, associada às características ambientais de cultivo, pode modificar o comportamento dos pigmentos durante o processamento. Assim, a caracterização prévia da matriz vegetal e o controle das condições de pH e temperatura são fundamentais para a obtenção de extratos com composição conhecida e maior estabilidade físico-química.

5.3. Contribuição das Técnicas Cromatográficas

A caracterização cromatográfica é fundamental para a avaliação da composição dos extratos, uma vez que a quantificação global de antocianinas não permite, isoladamente, identificar quais estruturas estão presentes na amostra. Nesse contexto, a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) constitui uma ferramenta importante para a separação e quantificação dos pigmentos, enquanto sua associação à espectrometria de massas permite obter informações adicionais sobre a estrutura molecular dos compostos (Xue et al., 2026; Yuzuak et al., 2023).

Yuzuak et al. (2023) destacam que a associação entre HPLC e espectrometria de massas em tandem (MS/MS) é especialmente relevante para diferenciar antocianinas com estruturas semelhantes. A análise dos íons precursores e dos fragmentos gerados durante a dissociação permite identificar características estruturais, como a natureza dos açúcares ligados à molécula e a presença de determinados grupos substituintes. Dessa forma, a técnica amplia a capacidade de identificação dos compostos presentes em matrizes vegetais complexas.

Além da identificação estrutural, a padronização das condições cromatográficas é necessária para garantir resultados quantitativos confiáveis. Xue et al. (2026) ressaltam a importância da escolha adequada do preparo da amostra, dos padrões analíticos, da coluna cromatográfica, da composição da fase móvel e das condições de eluição. A utilização de fases móveis acidificadas também contribui para reduzir alterações estruturais durante a análise, favorecendo a estabilidade dos pigmentos e a reprodutibilidade dos resultados.

A etapa de purificação também interfere diretamente na qualidade da amostra analisada. Santiago et al. (2018) demonstraram a possibilidade de combinar diferentes técnicas de separação, incluindo coluna C18, cartucho de troca catiônica e cartucho Sep-Pak C18, para remover interferentes presentes em extratos vegetais. No estudo, a combinação dessas etapas permitiu obter, a partir do fruto da amendoeira, uma fração de cianidina-3-O-glicosídeo com pureza de 99%, demonstrando o potencial das técnicas combinadas para a obtenção de padrões analíticos. Entretanto, esse resultado está relacionado à matriz e às condições específicas avaliadas pelos autores, não podendo ser diretamente extrapolado para o bagaço de uva.

A importância do controle analítico também é evidenciada pelo estudo de Jaspers et al. (2026), que avaliou treze suplementos alimentares contendo antocianinas comercializados na Bélgica. Os autores observaram divergências entre os teores declarados nos rótulos e aqueles determinados analiticamente, além de verificarem que apenas 54% dos produtos apresentaram autenticidade compatível com o perfil de referência esperado. Esses resultados demonstram que a presença declarada de antocianinas em produtos comerciais não garante, necessariamente, a correspondência entre a composição real e a informação apresentada ao consumidor.

Portanto, a integração entre HPLC, espectrometria de massas e técnicas de purificação representa uma etapa essencial para a caracterização e o controle de qualidade de produtos contendo antocianinas. A adoção de procedimentos analíticos padronizados permite identificar diferenças entre matrizes, verificar a autenticidade dos extratos e reduzir inconsistências na quantificação, contribuindo para maior confiabilidade na aplicação desses compostos em produtos alimentícios e farmacêuticos (Jaspers et al., 2026; Xue et al., 2026; Yuzuak et al., 2023).

5.4. Potencial Terapêutico das Antocianinas e Limitações da Biodisponibilidade

As antocianinas têm despertado interesse devido às evidências relacionadas à sua atividade antioxidante, anti-inflamatória e à participação em processos associados ao metabolismo e à função cardiovascular. Entretanto, a interpretação de seu potencial terapêutico exige considerar não apenas os mecanismos observados

em estudos experimentais, mas também as limitações relacionadas à absorção e à disponibilidade desses compostos no organismo.

Entre os mecanismos descritos na literatura, destaca-se a participação do eixo Keap1-Nrf2-ARE na resposta ao estresse oxidativo, a modulação de vias relacionadas à resposta inflamatória e as possíveis relações entre as antocianinas e processos metabólicos e cardiovasculares. Entretanto, apesar dessas evidências, a biodisponibilidade representa uma das principais limitações para a aplicação terapêutica desses compostos. A absorção sistêmica das antocianinas intactas é descrita como reduzida, permanecendo abaixo de 2% da dose ingerida nos dados apresentados por Li et al. (2026). Esse aspecto indica que os efeitos biológicos observados não devem ser atribuídos exclusivamente à ação direta dos pigmentos intactos na circulação sanguínea.

Nesse contexto, a biotransformação intestinal assume papel importante. Parte das antocianinas que não é absorvida no trato gastrointestinal pode alcançar o cólon, onde sofre modificações decorrentes da atividade metabólica da microbiota intestinal. Entre os produtos dessa transformação encontra-se o ácido protocatéquico, formado a partir da degradação de estruturas antociânicas, como a cianidina-3-glicosídeo. Esse metabólito apresenta relevância para a compreensão dos efeitos biológicos associados ao consumo de antocianinas, uma vez que pode contribuir para respostas observadas após a ingestão desses compostos (LI et al., 2026).

Diante disso, embora os mecanismos descritos indiquem potencial antioxidante, anti-inflamatório e metabólico, é necessário distinguir os resultados obtidos em modelos celulares e experimentais

daqueles que demonstram eficácia clínica em seres humanos. A baixa biodisponibilidade das formas intactas e a influência da microbiota intestinal representam limitações que precisam ser consideradas na avaliação de sua aplicação terapêutica. Os dados disponíveis sustentam o interesse científico pelas antocianinas, mas não permitem, isoladamente, afirmar a eficácia de formulações farmacêuticas destinadas ao tratamento de doenças específicas.

5.5. Viabilidade Tecnológica e Perspectivas de Aplicação Farmacêutica

A aplicação das antocianinas em produtos alimentícios e farmacêuticos depende da superação de desafios relacionados à estabilidade, à padronização da composição química e à manutenção da atividade biológica durante o processamento e o armazenamento. Embora esses compostos apresentem propriedades de interesse tecnológico e farmacológico, sua sensibilidade a fatores ambientais exige estratégias capazes de preservar suas características físico-químicas e ampliar sua estabilidade (LI et al., 2026; Nollet; Ötleş, 2025).

Entre as alternativas descritas na literatura, destacam-se os processos de encapsulação, que podem proteger os pigmentos contra condições desfavoráveis de processamento e armazenamento. A incorporação das antocianinas em sistemas de encapsulação pode contribuir para reduzir a exposição direta à luz, ao oxigênio e a variações de temperatura e pH, favorecendo sua utilização como ingredientes funcionais e pigmentos naturais. Entretanto, a escolha do material encapsulante e do processo de obtenção deve considerar a compatibilidade com a matriz e a finalidade do produto (Nollet; Ötleş, 2025).

O aproveitamento de resíduos agroindustriais, especialmente o bagaço de uva, também representa uma possibilidade relevante para a obtenção de extratos ricos em antocianinas. Os resultados apresentados por Yang e Kilmartin (2025) demonstram que a otimização das condições de secagem, pré-tratamento e extração pode aumentar a recuperação dos pigmentos presentes nessa biomassa. Essa estratégia contribui para agregar valor a um subproduto do processamento vinícola e pode favorecer o desenvolvimento de processos de aproveitamento mais sustentáveis.

Entretanto, a obtenção de extratos com aplicação farmacêutica exige critérios rigorosos de caracterização, pureza e controle de qualidade. A variabilidade da matéria-prima, as diferenças entre os métodos de extração e a possibilidade de degradação durante o armazenamento podem comprometer a padronização dos produtos. Nesse sentido, os resultados de Jaspers et al. (2026) demonstram a importância de métodos analíticos validados para verificar a correspondência entre a composição declarada e a composição efetiva de produtos comercializados.

Assim, embora as antocianinas apresentem potencial para utilização em formulações alimentícias, nutracêuticas e farmacêuticas, sua aplicação depende da integração entre tecnologias de extração, estratégias de estabilização, métodos de purificação e procedimentos analíticos confiáveis. A literatura analisada indica avanços importantes nesse campo, mas também evidencia a necessidade de estudos adicionais sobre estabilidade em formulações, biodisponibilidade, segurança e eficácia em seres humanos. Dessa maneira, a ampliação de suas aplicações depende não apenas da obtenção de maiores rendimentos, mas também da

produção de extratos padronizados, estáveis e adequadamente caracterizados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da literatura permitiu reunir e discutir os principais avanços científicos relacionados às antocianinas, considerando suas características químicas, diversidade estrutural, estabilidade, métodos de extração e purificação, técnicas de caracterização cromatográfica e potencial de aplicação. Verificou-se que esses compostos apresentam propriedades de interesse tecnológico e biológico, mas sua utilização depende do controle de fatores que influenciam diretamente sua obtenção, conservação e qualidade.

Em relação aos processos de extração, observou-se que métodos convencionais e tecnologias emergentes apresentam vantagens e limitações distintas. Técnicas como a extração assistida por ultrassom e por micro-ondas demonstram potencial para melhorar a recuperação de antocianinas e reduzir o tempo de processamento, embora sua eficiência dependa das características da matriz vegetal, do solvente utilizado e das condições operacionais. Nesse contexto, não é possível estabelecer um único método como o mais adequado para todas as aplicações, sendo necessária a seleção das condições de extração conforme o rendimento desejado, a preservação dos compostos e a viabilidade econômica do processo. O estudo de Yang e Kilmartin (2025), por exemplo, demonstrou que a combinação de pré-tratamento e extração assistida por micro-ondas pode favorecer a recuperação de antocianinas do bagaço de uva Merlot, evidenciando o potencial de aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Quanto à caracterização e à purificação, a cromatografia líquida de alta eficiência, associada a detectores apropriados e à espectrometria de massas, destaca-se como ferramenta importante para identificar, diferenciar e quantificar as antocianinas presentes em matrizes vegetais complexas. A utilização de procedimentos analíticos padronizados e validados também se mostra fundamental para assegurar a confiabilidade dos resultados, a autenticidade dos extratos e a qualidade dos produtos desenvolvidos. Além disso, técnicas de purificação, como a extração em fase sólida, podem contribuir para a obtenção de frações enriquecidas, desde que sejam consideradas as particularidades de cada matriz.

No que se refere ao potencial terapêutico, as evidências científicas apontam atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e metabólicas associadas às antocianinas e a seus metabólitos. Entretanto, a instabilidade química desses compostos e as transformações decorrentes do metabolismo intestinal representam desafios para a compreensão de seus efeitos no organismo. Dessa forma, embora os mecanismos moleculares descritos na literatura indiquem perspectivas promissoras, ainda são necessários estudos que aprofundem a relação entre estrutura química, metabolismo, biodisponibilidade e efeitos biológicos, especialmente em condições fisiológicas e clínicas.

Diante dos aspectos analisados, considera-se que a fabricação de produtos à base de antocianinas é tecnologicamente promissora, sobretudo nos setores alimentício e nutracêutico, desde que sejam adotadas estratégias adequadas de extração, estabilização, caracterização e controle de qualidade. No âmbito farmacêutico, entretanto, sua aplicação como componente de formulações com finalidade terapêutica ainda requer investigações adicionais sobre

segurança, biodisponibilidade, eficácia e padronização, não sendo possível afirmar, com base nas evidências discutidas, que esses compostos já estejam estabelecidos como alternativas terapêuticas para doenças específicas.

Assim, o objetivo proposto neste trabalho foi alcançado, uma vez que a revisão permitiu sintetizar criticamente os conhecimentos disponíveis sobre o perfil químico e a diversidade estrutural das antocianinas, os métodos de extração e purificação, as técnicas de caracterização, a influência de fatores ambientais, o potencial terapêutico e os critérios de controle de qualidade. Conclui-se que os avanços científicos e tecnológicos ampliam as possibilidades de aproveitamento desses compostos, mas sua aplicação em produtos com qualidade, segurança e eficácia demonstradas depende da continuidade das pesquisas e do aperfeiçoamento dos processos de obtenção e caracterização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE ANDRADE, Raphael Henrique Soares; DO NASCIMENTO, Lígia Samara; PEREIRA, Giuliano Elias; HALLWASS, Fernando; PAIM, Ana Paula Silveira. Anthocyanic composition of Brazilian red wines and use of HPLC-UV–Vis associated to chemometrics to distinguish wines from different regions. Microchemical Journal, v. 110, p. 256–262, 2013. DOI: 10.1016/j.microc.2013.04.003.

JASPERS, Lieselotte; FOUBERT, Kenn; THEUNIS, Mart; et al. Method development and validation of anthocyanin quantification in blueberry and bilberry powder: Analysis of the market integrity of anthocyanin-based food supplements. Food Control, vol. 184, p.

112036, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2026.112036.

LI, Le; LIU, Zhiqing; LI, Quanhong; WANG, Siting. Advances in anthocyanins: Chemical foundations, synthetic biology, molecular mechanisms, physicochemical properties, and applications in the food industry. Food Chemistry: X, v. 36, art. 103938, 2026. DOI: 10.1016/j.fochx.2026.103938.

NOLLET, Leo M. L.; ÖTLEŞ, Semih (ed.). Handbook of Analysis and Extraction Methods of Anthocyanins. Boca Raton: CRC Press, 2025. DOI: 10.1201/9781003453260

PASTRANA BONILLA, Eduardo; GUTIÉRREZ GUZMÁN, Nelson. Identificación y cuantificación de antocianinas en uvas muscadinas por cromatografía líquida y espectrometría de masas. Entornos, n. 21, p. 9–17, 2009. DOI: 10.25054/01247905.396. Acesso em: 7 set. 2026.

SANTIAGO, Manuela Cristina Pessanha de Araujo et al. Técnicas combinadas para purificação e concentração de antocianinas. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2018. 7 p. (Comunicado Técnico, 234). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108570. Acesso em: 7 set. 2026.

XUE, Zi-Jun; YU, Xiao-Lin; XUE, Hao-Yu; TIAN, Jin-Long. Guideline for High-Performance Liquid Chromatography Detection of Anthocyanins. AgriFood: Journal of Agricultural Products for Food, v. 2, n. 2, p. 178–185, 2026. DOI: 10.1002/agf2.70022.

YANG, Yi; KILMARTIN, Paul A. Advancing anthocyanin extraction: Optimising solvent, preservation, and microwave techniques for

enhanced recovery from Merlot grape marc. Food Chemistry, v. 472, art. 142648, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.142648.

YUZUAK, Seyit; MA, Qing; LU, Yin; XIE, De-Yu. HPLC-MS(n) applications in the analysis of anthocyanins in fruits. In: NÚÑEZ, Oscar; SENTELLAS, Sònia; GRANADOS, Mercè; SAURINA, Javier (ed.). High Performance Liquid Chromatography: Recent Advances and Applications. IntechOpen, 2023. DOI: 10.5772/intechopen.110466.

---

[1] Discente do Curso Superior de Farmácia do Instituto Newton Paiva Wyden *Campus* Silva Lobo, Belo Horizonte. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Discente do Curso Superior de Farmácia do Instituto Newton Paiva Wyden *Campus* Silva Lobo, Belo Horizonte. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[3] Discente do Curso Superior de Farmácia do Instituto Newton Paiva Wyden *Campus* Silva Lobo, Belo Horizonte. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[4] Discente do Curso Superior de Farmácia do Instituto Newton Paiva Wyden *Campus* Silva Lobo, Belo Horizonte. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[5] Docente do Curso Superior de Farmácia do Instituto Newton Paiva Wyden *Campus* Silva Lobo, Belo Horizonte. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail