

Potencial químico e biológico dos resíduos da poda de espécies frutíferas neotropicais: uma abordagem baseada na química verde

Luiz Rafael Silva Gomes¹ , Sidney Mariano dos Santos² , Claudia Andrea Lima Cardoso^{3*} 

¹Graduando em Química Industrial, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil.

²PhD em Ciências da Saúde, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil.

³PhD em Química, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil. (*Autor correspondente: claudia@uemms.br)

Histórico do Artigo: Submetido em: 16/06/2026 – Revisado em: 26/07/2026 – Aceito em: 30/07/2026

RESUMO

A integração de resíduos de poda de espécies frutíferas neotropicais na bioeconomia circular oferece um caminho sustentável para transformar resíduos agrícolas em bioprodutos de alto valor. Este estudo avaliou os perfis minerais de folhas e galhos secos, bem como o potencial fitoquímico, a capacidade antioxidante e o potencial fotoprotetor de extratos aquosos obtidos de folhas e galhos separados de *Malpighia emarginata* (acerola), *Plinia cauliflora* (jaboticaba), *Eugenia uniflora* (pitanga), *Psidium guajava* (goiaba) e *Persea americana* (abacate) coletados no Brasil. A validação da biomassa incluiu a análise de macro e micronutrientes por espectrofotometria de absorção atômica e turbidimetria. Os conteúdos de fenólicos totais (TPC) e flavonoides totais (TFC), a atividade de captura do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (DPPH) e o Fator de Proteção Solar (SPF) foram medidos por espectrofotometria. Um gradiente robusto de bioatividade (PC1 > 83%) foi observado em todas as espécies, demonstrando que o TPC e o TFC estão intrinsecamente ligados tanto à captura de radicais quanto à fotoproteção. Os tecidos foliares exibiram consistentemente uma potência metabólica superior em comparação com os galhos, estabelecendo uma lacuna pronunciada de potência específica do tecido. Esses achados validam a extração aquosa verde como um bioprocessamento seguro e eficaz para recuperar metabólitos polares especializados de resíduos de poda, posicionando esses resíduos neotropicais como ingredientes sustentáveis de alto desempenho para os mercados globais de cosmecêuticos e nutracêuticos.

Palavras-Chaves: Resíduos agroindustriais, Polifenóis, Antioxidantes, Nutrientes, Fotoproteção.

Chemical and biological potential of pruning residues from neotropical fruit species: a green chemistry-based approach

ABSTRACT

The integration of pruning residues from neotropical fruit species into the circular bioeconomy offers a sustainable pathway to transform agricultural waste into high-value bioproducts. This study evaluated the mineral profiles of dry leaves and branches, as well as the phytochemical, antioxidant capacity and photoprotective potential of aqueous extracts derived from separate leaves and branches of *Malpighia emarginata* (acerola), *Plinia cauliflora* (jaboticaba), *Eugenia uniflora* (pitanga), *Psidium guajava* (guava), and *Persea americana* (avocado) collected in Brazil. Biomass validation included macro and micronutrient analysis via atomic absorption spectrophotometry and turbidimetry. Total phenolic (TPC) and flavonoid (TFC) contents, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, and Sun Protection Factor (SPF) were measured by spectrophotometry. A robust bioactivity gradient (PC1 > 83%) was observed across all species, demonstrating that TPC and TFC are intrinsically linked to both radical scavenging and photoprotection. Foliar tissues consistently exhibited superior metabolic potency compared to branches, establishing a pronounced tissue-specific potency gap. These findings validate green aqueous extraction as a safe and effective bioprocess to recover specialized polar metabolites from pruning waste, positioning these neotropical residues as high-performance, sustainable ingredients for the global cosmeceutical and nutraceutical markets.

Keywords: Agro-industrial residues, Polyphenols, Antioxidants, Nutrients, Photoprotection.

Gomes, L. R. S., Santos, S. M. dos, & Cardoso, C. A. L. (2026). Potencial químico e biológico dos resíduos da poda de espécies frutíferas neotropicais: Uma abordagem baseada na química verde. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.14, n.2, p.299-316.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

Potencial químico y biológico de los residuos de poda de especies frutales neotropicales: un enfoque basado en la química verde

RESUMEN

La integración de los residuos de poda de especies frutales neotropicales en la bioeconomía circular ofrece una vía sostenible para transformar los desechos agrícolas en bioproductos de alto valor. Este estudio evaluó los perfiles minerales de hojas y ramas secas, así como el potencial fitoquímico, la capacidad antioxidante y el potencial fotoprotector de extractos acuosos derivados de hojas y ramas separadas de *Malpighia emarginata* (acerola), *Plinia cauliflora* (jaboticaba), *Eugenia uniflora* (pitanga), *Psidium guajava* (guayaba) y *Persea americana* (aguacate) recolectadas en Brasil. La validación de la biomasa incluyó el análisis de macro y micronutrientes mediante espectrofotometría de absorción atómica y turbidimetría. El contenido de fenoles totales (TPC), los flavonoides totales (TFC), la actividad de captación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y el Factor de Protección Solar (SPF) se midieron por espectrofotometría. Se observó un gradiente de bioactividad robusto ($PC1 > 83\%$) en todas las especies, lo que demuestra que el TPC y el TFC están intrínsecamente vinculados tanto a la captación de radicales como a la fotoprotección. Los tejidos foliares exhibieron consistentemente una potencia metabólica superior en comparación con las ramas, estableciendo una brecha pronunciada de potencia específica del tejido. Estos hallazgos validan la extracción acuosa verde como un bioproceso seguro y eficaz para recuperar metabolitos polares especializados a partir de residuos de poda, posicionando estos residuos neotropicales como ingredientes sostenibles de alto rendimiento para los mercados globales de cosmeceúticos y nutracéuticos.

Palabras clave: Residuos agroindustriales, Polifenoles, Antioxidantes, Nutrientes, Fotoprotección.

1. Introdução

O Brasil é atualmente o terceiro maior produtor de frutas do mundo, mantendo uma produção anual de aproximadamente 40 a 43 milhões de toneladas em uma área de 1,9 a 2,3 milhões de hectares (Bornal et al., 2021; Petry et al., 2025). Este setor serve como um pilar da economia nacional e do tecido social, gerando cerca de 5 a 6 milhões de empregos, o que representa quase 16% da força de trabalho agrícola, e atingindo um Valor Bruto da Produção (VBP) de R\$ 75 bilhões em 2023 (Bornal et al., 2021; Petry et al., 2025). Além disso, a fruticultura está profundamente enraizada na agricultura familiar, que constitui 77% dos estabelecimentos rurais e fornece 70% dos alimentos básicos consumidos internamente (Luiz & Milani, 2022). Embora culturas amplamente difundidas como a laranja e a banana dominem o volume (Petry et al., 2025), várias outras espécies possuem importância estratégica devido ao seu alto valor nutricional e potencial industrial.

Entre essas espécies, a acerola (*Malpighia emarginata* DC.) posicionou o Brasil como líder mundial em produção, consumo e exportação, com mais de 7.000 hectares cultivados e 42 cultivares distintas. Seu destaque é impulsionado em grande parte por seu papel industrial como uma fonte natural superior de Vitamina C (Farinelli et al., 2021; Ferreira et al., 2021). Dentro da família Myrtaceae, a jaboticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) destaca-se como uma espécie marcante da Mata Atlântica brasileira (Silva et al., 2019), enquanto a pitanga (*Eugenia uniflora* L.) é amplamente reconhecida por sua adaptabilidade (Franzon et al., 2018). Ambas são onipresentes em pomares domésticos, paisagismo e mercados locais. A goiaba (*Psidium guajava* L.) representa ainda um ativo industrial crítico, amplamente utilizada para polpa e doces, sendo cultivada em mais de 20.000 hectares e rendendo cerca de 460.000 toneladas anualmente (Vitti et al., 2020; Petry et al., 2025). Por fim, o abacate (*Persea americana* Mill.) teve um aumento significativo de produção; em 2019, o Brasil foi responsável por 243.000 toneladas, ocupando o sétimo lugar globalmente e contribuindo com 3,4% para o suprimento mundial total (Fischer & Firmino, 2023).

Apesar da alta produtividade dessas espécies, o manejo rotineiro dos pomares gera volumes substanciais de subprodutos agrícolas, particularmente resíduos de poda. Esses materiais são tradicionalmente descartados, queimados ou deixados para se decompor no campo, levando à perda de biomassa valiosa e aumentando os impactos ambientais. Embora os dados específicos sobre resíduos de poda para essas espécies neotropicais permaneçam escassos, estimativas na indústria de frutas da União Europeia sugerem uma disponibilidade potencial de aproximadamente 25 milhões de toneladas métricas de matéria seca por ano (Libutti et al., 2021).

Sob a perspectiva de uma bioeconomia circular, esses resíduos servem como reservatórios concentrados de metabólitos secundários sintetizados pelas plantas como respostas adaptativas a estressores ambientais. O reaproveitamento estratégico da biomassa como bioprodutos de alto valor oferece um caminho sustentável para mitigar o desperdício e fornecer insumos inovadores para as indústrias farmacêutica e cosmeceutica, alinhando-se com a Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, particularmente o Objetivo 12, que defende modelos de produção mais sustentáveis e a redução de resíduos nas cadeias industriais (Sharma & Malaviya, 2023).

Diante desse potencial, os objetivos deste estudo foram quantificar os perfis de macro e micronutrientes nas folhas e galhos secos de *M. emarginata*, *P. cauliflora*, *E. uniflora*, *P. guajava* e *P. americana*. Além disso, buscou-se produzir extratos aquosos de ambos os órgãos nas concentrações de 2%, 5% e 10% (p/v) para avaliar seu teor de fenólicos totais e flavonoides, atividade antioxidante e fator de proteção solar (FPS).

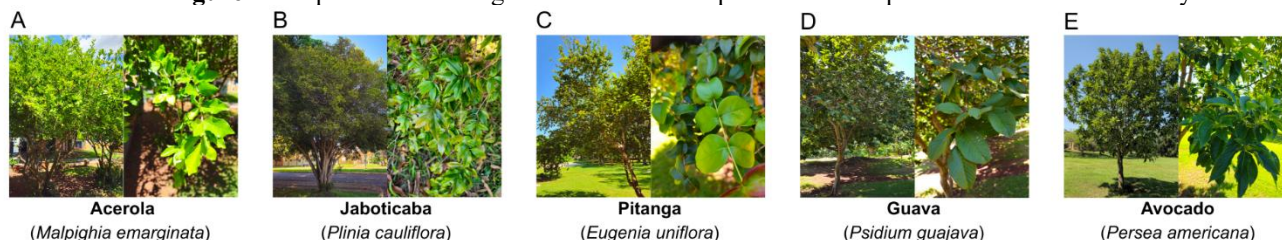
2. Material e Métodos

2.1 Material vegetal e registro

Resíduos de poda (folhas e galhos) de acerola (*M. emarginata*), jaboticaba (*P. cauliflora*), pitanga (*E. uniflora*), goiaba (*P. guajava*) e abacate (*P. americana*) foram coletados em Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil (22°11'46" S, 54°55'48" O), em agosto de 2025. A Figura 1A-E mostra os espécimes.

Figura 1 – Imagens representativas das cinco espécies de árvores frutíferas neotropicais avaliadas no estudo

Figure 1 - Representative images of the five neotropical fruit tree species evaluated in the study



Fonte: Elaborado pelos autores

Source: Prepared by the authors

O estudo foi registrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o número de registro A990F39.

2.2 Processamento das amostras e extração aquosa

As folhas e os galhos limpos foram secos separadamente em estufa de circulação forçada de ar (Solab, Brasil) a 45 °C até atingirem peso constante. O percentual de teor de umidade (TU %) foi calculado por meio da fórmula: $TU (\%) = [(M_i - M_f) / M_i] \times 100$. Onde M_i representa a massa inicial e M_f representa a massa final. Após a desidratação, os materiais vegetais foram moídos individualmente em moinho de facas (Fortinox, Brasil). Extratos aquosos de folhas e galhos foram preparados utilizando água destilada nas concentrações de 2%, 5% e 10% (p/v). A mistura foi mantida por 24 horas a 20 °C para garantir uma extração ideal. Posteriormente, os extratos foram filtrados e utilizados imediatamente para todas as análises subsequentes.

2.3 Conteúdo de fenólicos totais (TPC)

Os compostos fenólicos totais foram quantificados via método de Folin–Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965), conforme modificado por Djeridane et al. (2006). O protocolo envolveu a mistura de 1 mL de extrato com 0,5 mL do reagente Folin–Ciocalteu (1:10 v/v) e 1 mL de água destilada. Após um intervalo de 1 minuto, adicionou-se 1,5 mL de carbonato de sódio a 20% (p/v). Após 120 minutos de incubação em temperatura ambiente, a absorbância foi lida em 760 nm (BEL Photonics, Brasil). A quantificação seguiu uma curva de calibração de ácido gálico ($10\text{--}1000\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$; $y = 0,0015x + 0,0008$; $R^2 = 0,9875$), com os resultados expressos em microgramas de equivalentes de ácido gálico por mililitro ($\mu\text{g EAG mL}^{-1}$). O solvente de extração substituiu a amostra para o branco, e todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.4 Conteúdo de flavonoides totais (TFC)

O conteúdo de flavonoides totais foi medido utilizando o método colorimétrico baseado na reação com cloreto de alumínio (Christ & Müller, 1960), adaptado por Djeridane et al. (2006). Em suma, 1 mL de amostra reagiu com 1 mL de cloreto de alumínio (2% p/v em metanol). Após uma incubação de 15 minutos em temperatura ambiente, a absorbância foi registrada em 430 nm utilizando um espectrofotômetro (BEL Photonics, Brasil). A quantificação foi realizada utilizando uma curva padrão de rutina ($10\text{--}50\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$; $y = 0,0105x + 0,0019$; $R^2 = 0,9990$), com os resultados expressos em microgramas de equivalentes de rutina por mililitro ($\mu\text{g ER mL}^{-1}$). Para o branco, a amostra foi substituída pelo solvente de extração. Todos os testes foram conduzidos em triplicata.

2.5 Atividade sequestrante do radical DPPH

A capacidade antioxidante foi avaliada através do sequestro do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (DPPH), com base no método de Blois (1958) com adaptações de Capanoglu et al. (2008). Aliquotas de 100 μL de cada extrato foram misturadas com 2000 μL de uma solução metanólica de DPPH $0,1\text{ mmol L}^{-1}$. A mistura foi incubada no escuro por 30 minutos e a absorbância foi medida subsequentemente em 517 nm (BEL Photonics, Brasil). A atividade de sequestro do radical foi determinada como uma porcentagem de inibição (%I) e calculada da seguinte forma: $\%I = [(AbsC - AbsS) / AbsC] \times 100$. Onde AbsC corresponde à absorbância do controle (solvente de extração substituindo a amostra) e AbsS representa a absorbância da amostra. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

2.6 Varredura UV-Vis e determinação do Fator de Proteção Solar (SPF)

A varredura UV-Vis dos extratos aquosos foi realizada em duplicata utilizando um espectrofotômetro (BEL Photonics, Brasil). As medições de absorbância foram registradas de 200 a 800 nm, com resolução de 1 nm, utilizando uma cubeta de quartzo.

O SPF foi determinado com base nas leituras de absorbância de 290 a 320 nm em intervalos de 5 nm, aplicando a metodologia de Mansur et al. (1986). Os valores foram calculados utilizando a equação $SPF = FC \times \sum (290\text{--}320\text{ nm}) EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$, onde FC representa o fator de correção (=10), os valores de $EE(\lambda) \times I(\lambda)$ permaneceram constantes conforme descrito anteriormente por Sayre et al. (1979), com $EE(\lambda)$ correspondendo ao espectro de eficiência eritemal e $I(\lambda)$ representando o espectro de intensidade da luz solar; e $Abs(\lambda)$ indica a absorbância da solução em cada comprimento de onda.

2.7 *Análise de nutrientes do tecido vegetal*

Folhas e galhos secos passaram por digestão úmida nítrico-perclórica para a determinação de macro e micronutrientes. As concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram medidas por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin Elmer, Estados Unidos da América), e o enxofre (S) foi determinado por turbidimetria de sulfato de bário. As concentrações de nutrientes foram expressas em g kg^{-1} para macronutrientes e mg kg^{-1} para micronutrientes, com base no peso seco (Malavolta et al., 1997).

2.8 *Análise estatística*

Todos os cálculos estatísticos e visualizações de dados foram executados utilizando o software R (versão 4.5.3) dentro do ambiente de desenvolvimento integrado RStudio (versão 2026.01.2+418). A análise de agrupamento hierárquico (HCA) foi realizada utilizando a matriz de distância Euclidiana e o método de ligação de grupo de pares não ponderados com média aritmética (UPGMA), e o conjunto de dados resultante foi visualizado como um mapa de calor de agrupamento hierárquico bidirecional (two-way) utilizando os pacotes *vegan* e *pheatmap*. Gráficos de radar foram gerados para comparar perfis multivariáveis entre as amostras utilizando os pacotes *fmsb* e *scales*.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi calculada com base em uma matriz de correlação para avaliar a variância dos dados, e as estruturas multivariadas foram projetadas por meio de gráficos biplot utilizando os pacotes *FactoMineR* e *factoextra*. Os perfis espectrais ultravioleta comparativos na faixa de comprimento de onda de 200 a 400 nm foram mapeados como gráficos de contorno bidimensionais e de superfície de resposta tridimensionais utilizando os pacotes *plotly* e *ggplot2*.

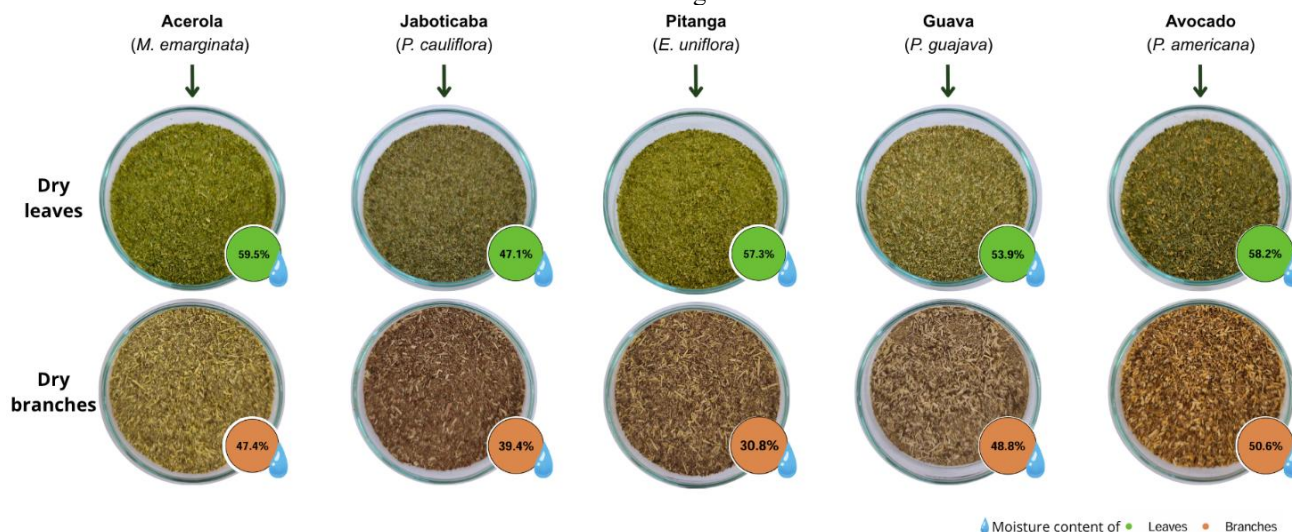
3. Resultados

3.1 *Teor de umidade*

O teor de umidade dos resíduos de poda variou entre as cinco espécies neotropicais e entre os respectivos órgãos botânicos (Figura 2). No geral, os tecidos foliares exibiram níveis de umidade mais elevados em comparação aos galhos. O teor de umidade nas folhas variou de $47,12 \pm 1,13\%$ em jaboticaba a $59,48 \pm 0,17\%$ em acerola. Em contraste, os galhos mostraram uma menor retenção de água, com valores variando de $30,75 \pm 0,08\%$ em pitanga a $50,62 \pm 0,22\%$ em abacate.

Figura 2 – Biomassa seca processada (folhas e galhos) e o respectivo teor de umidade (%) para cada órgão botânico

Figure 2 - Processed dry biomass (leaves and branches), and the respective moisture content (%) for each botanical organ



Fonte: Elaborado pelos autores

Source: Prepared by the authors

Na figura 2, é possível observar distintas tonalidade de pigmentação verde nas amostras de folhas, ocasionada pela presença dos pigmentos fotossintéticos como a clorofila, e tons marrons nos galhos, onde esses pigmentos não são abundantes.

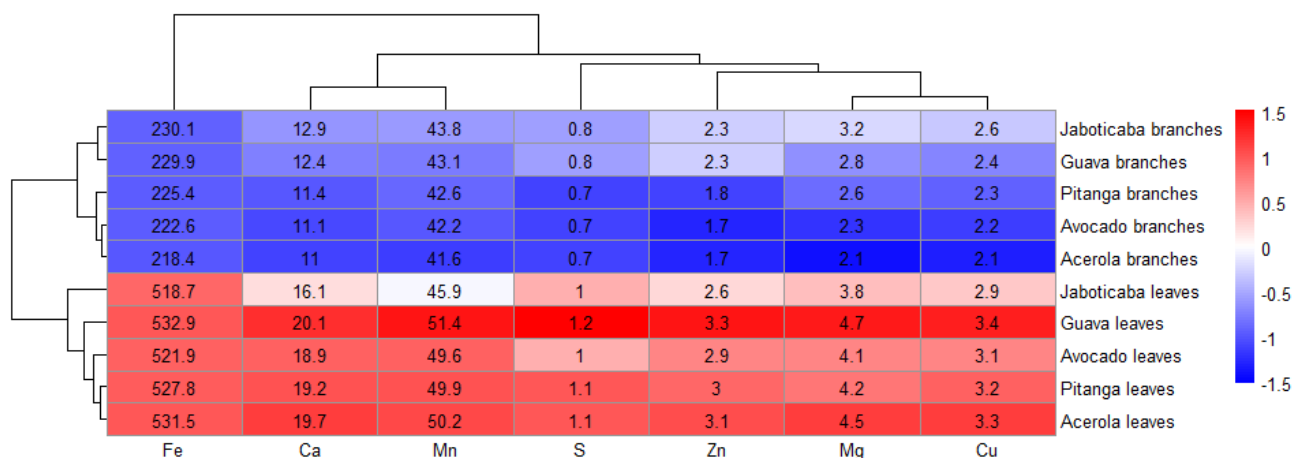
3.2 Perfil de macro e micronutrientes da biomassa seca

A análise elementar da biomassa seca revelou um particionamento nutricional distinto entre os órgãos das plantas, com os tecidos das folhas exibindo consistentemente um maior acúmulo tanto de macronutrientes (Ca, Mg e S) quanto de micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu) em comparação aos galhos. Embora as diferenças na concentração mineral entre as folhas de diferentes espécies, bem como entre os galhos de diferentes espécies, tenham sido relativamente estreitas, estabeleceu-se uma hierarquia clara e específica por órgão.

Esta distribuição é visualizada no mapa de calor de agrupamento hierárquico (Figura 3), no qual as amostras são segregadas em dois agrupamentos principais: um agrupamento de alta concentração (vermelho) correspondente aos tecidos foliares e um agrupamento de baixa concentração (azul) correspondente aos tecidos dos galhos.

Figura 3 – Mapa de calor de agrupamento hierárquico das concentrações de macro e micronutrientes na biomassa seca (folhas e galhos) de acerola, jaboticaba, pitanga, goiaba e abacate. A escala de cores representa os níveis de concentração padronizados, variando do azul (menor concentração) ao vermelho (maior concentração). Os valores numéricos dentro de cada célula representam as concentrações elementares específicas de Ferro (Fe), Cálcio (Ca), Manganês (Mn), Enxofre (S), Zinco (Zn), Magnésio (Mg) e Cobre (Cu)

Figure 3 - Hierarchical clustering heatmap of macro and micronutrient concentrations in the dried biomass (leaves and branches) of acerola, jaboticaba, pitanga, guava, and avocado. The color scale represents the standardized concentration levels, ranging from blue (lower concentration) to red (higher concentration). The numerical values within each cell represent the specific elemental concentrations for Iron (Fe), Calcium (Ca), Manganese (Mn), Sulfur (S), Zinc (Zn), Magnesium (Mg), and Copper (Cu)



Fonte: Elaborado pelos autores

Source: Prepared by the authors

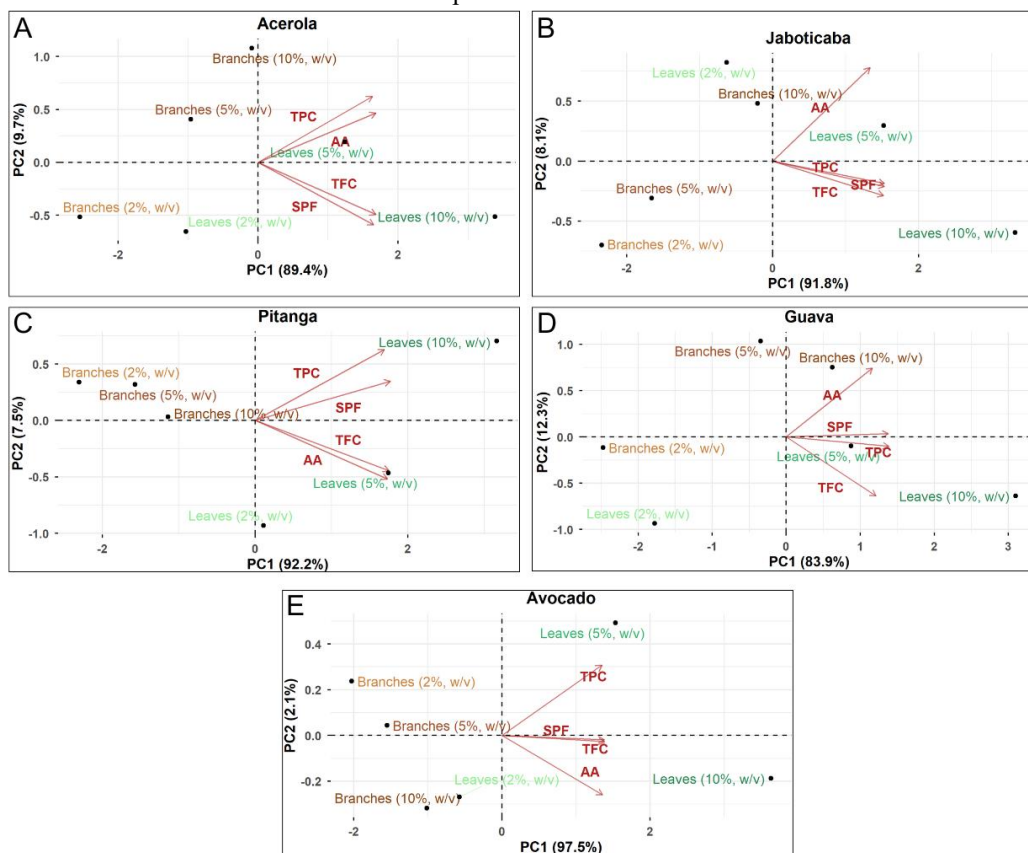
Entre as espécies estudadas, as folhas de goiaba foram particularmente notáveis por apresentarem as maiores concentrações para todos os elementos analisados, incluindo Fe (532,9 mg kg⁻¹), Ca (20,1 g kg⁻¹), Mn (51,4 mg kg⁻¹), S (1,2 g kg⁻¹), Zn (3,3 mg kg⁻¹), Mg (4,7 g kg⁻¹) e Cu (3,4 mg kg⁻¹). Essa densidade mineral superior nas folhas de goiaba destaca seu potencial como uma fonte mais concentrada de nutrientes essenciais em relação às outras espécies hortícolas avaliadas.

3.3 Quantificação fitoquímica, potencial antioxidante e capacidade fotoprotetora

A caracterização espectrofotométrica de todas as 5 espécies revelou um perfil dose-dependente e específico por órgão para todos os parâmetros avaliados. No geral, os extratos aquosos das folhas superaram consistentemente os dos galhos em todas as concentrações para o TPC, TFC, Atividade Antioxidante (AA) e SPF (Tabelas S1-S5). Os biplots da Análise de Componentes Principais (PCA) para as cinco espécies (acerola, jaboticaba, pitanga, goiaba e abacate) demonstraram uma tendência notavelmente consistente na distribuição de suas propriedades bioativas (Figuras 4A-E).

Figura 4 – Biplots da Análise de Componentes Principais (PCA) de extratos aquosos de cinco espécies de frutas: (A) acerola, (B) jaboticaba, (C) pitanga, (D) goiaba e (E) abacate. Os biplots ilustram a distribuição das amostras com base no órgão (folhas e galhos) e na concentração (2%, 5% e 10% m/v). Os vetores representam as variáveis analisadas: Teor de Fenóis Totais (TPC), Teor de Flavonoides Totais (TFC), Atividade Antioxidante (AA) e Fator de Proteção Solar (FPS). PC1 e PC2 indicam o primeiro e o segundo componentes principais, respectivamente, com suas respectivas porcentagens de variância

Figure 4 - Principal Component Analysis (PCA) biplots of aqueous extracts from five fruit species: (A) acerola, (B) jaboticaba, (C) pitanga, (D) guava, and (E) avocado. The biplots illustrate the distribution of samples based on organ (leaves and branches) and concentration (2%, 5%, and 10%, m/v). The vectors represent the analyzed variables: Total Phenolic Content (TPC), Total Flavonoid Content (TFC), Antioxidant Activity (AA), and Sun Protection Factor (SPF). PC1 and PC2 indicate the first and second principal components, respectively, with their corresponding percentages of explained variance



Fonte: Elaborado pelos autores

Source: Prepared by the authors

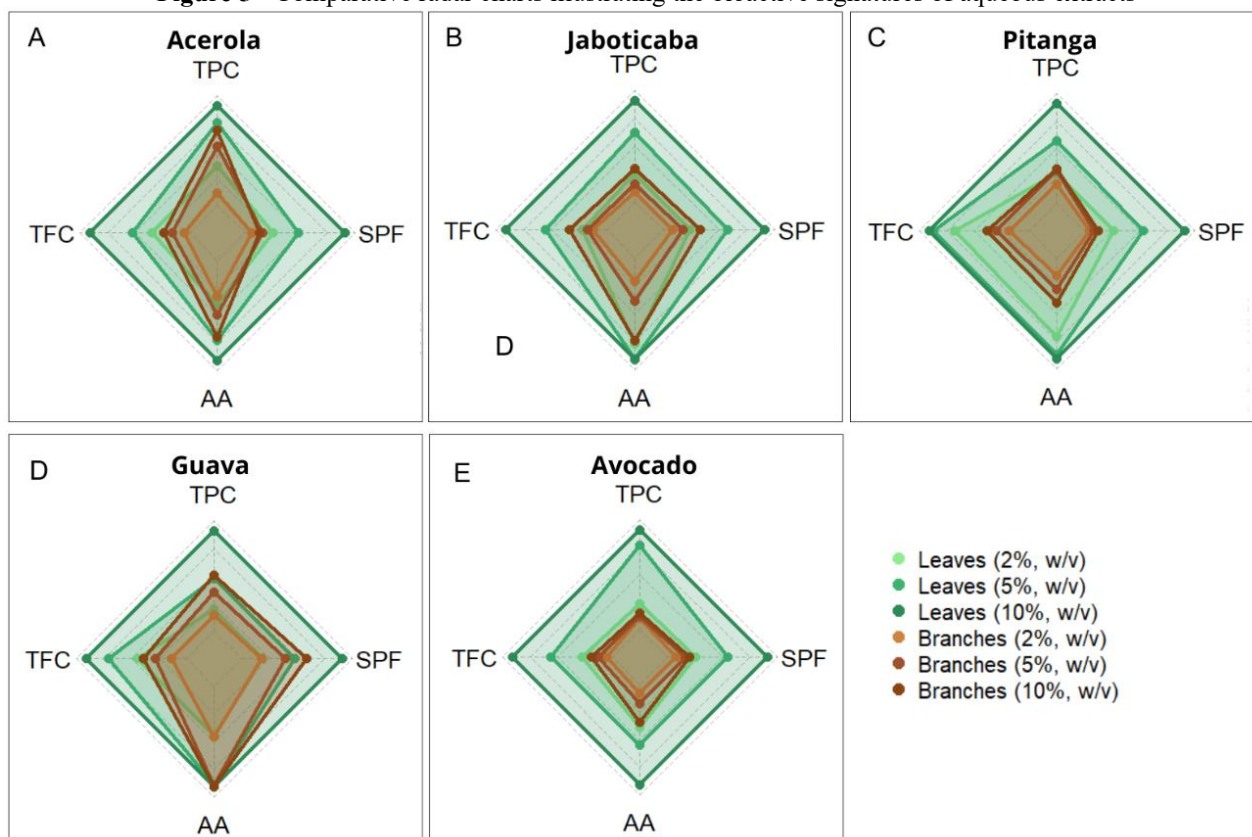
Em todos os casos, o primeiro componente principal (PC1) serviu como o eixo primário para discriminar a potência dos extratos, explicando uma porcentagem excepcionalmente alta da variância total: 89,4% para acerola, 91,8% para jaboticaba, 92,2% para pitanga, 83,9% para goiaba e 97,5% para abacate. As cargas dos fatores (loadings) para as quatro variáveis analisadas (TPC, TFC, AA e SPF) foram forte e positivamente correlacionadas com o lado direito do eixo horizontal (PC1 > 0). Esse alinhamento indica que o PC1 representa um gradiente de bioatividade, no qual o movimento para a direita reflete um aumento simultâneo em todos os parâmetros fitoquímicos e fotoprotetores avaliados.

Consequentemente, observou-se uma segregação clara, específica por órgão e dose-dependente, em todas as espécies. Os extratos foliares a 10% e 5% posicionaram-se consistentemente na extremidade direita do biplot, identificando-os como as amostras mais bioativas. Em contraste, os extratos de galhos a 2% agruparam-se na extremidade esquerda do biplot, representando os menores limiares de acúmulo de fenólicos e capacidade antioxidante.

A PCA revelou que a discrepância química entre folhas e galhos é tão pronunciada em certas espécies que a maior concentração dos extratos de galhos (10%) não consegue atingir as coordenadas ocupadas sequer pela menor concentração dos extratos de folhas (2%). Essa lacuna de potência foi mais evidente na pitanga e no abacate, onde as folhas mantiveram um agrupamento bioativo distinto e superior, independentemente da concentração. Em contraste, para a acerola e a jaboticaba, os extratos foliares a 2% ocuparam coordenadas semelhantes às dos extratos de galhos de maior concentração, sugerindo uma margem de superioridade mais estreita. Um comportamento único foi observado na goiaba, onde a concentração de galhos a 10% compartilhou coordenadas semelhantes com os extratos foliares a 5%, indicando uma sobreposição parcial em seus perfis fitoquímicos.

O desempenho multiparamétrico dos extratos foi visualizado detalhadamente por meio de gráficos de radar (Figuras 5A-E), que fornecem uma assinatura bioativa abrangente de cada amostra. Esta análise confirma uma superioridade hierárquica consistente dos extratos de folhas sobre os extratos de galhos em todas as espécies, bem como um claro aumento dose-dependente para cada variável avaliada.

Figura 5 – Gráficos de radar comparativos ilustrando as assinaturas bioativas de extratos aquosos
Figure 5 - Comparative radar charts illustrating the bioactive signatures of aqueous extracts



Fonte: Elaborado pelos autores
Source: Prepared by the authors

Legenda: (A) acerola, (B) jaboticaba, (C) pitanga, (D) goiaba e (E) abacate. Cada eixo representa um parâmetro analítico distinto: Teor de Fenóis Totais (TPC), Teor de Flavonoides Totais (TFC), Atividade Antioxidante (AA) e Fator de Proteção Solar (FPS). As linhas verdes representam extratos de folhas e as linhas marrons representam extratos de galhos, com a intensidade do sombreamento da linha correspondendo ao aumento das concentrações de 2%, 5% e 10% (m/v)

Legend: (A) acerola, (B) jaboticaba, (C) pitanga, (D) guava, and (E) avocado. Each axis represents a distinct analytical parameter: Total Phenolic Content (TPC), Total Flavonoid Content (TFC), Antioxidant Activity (AA), and Sun Protection Factor (SPF). Green lines represent leaf extracts and brown lines represent branch extracts, with line shading intensity corresponding to the increasing concentrations of 2%, 5%, and 10% (m/v)

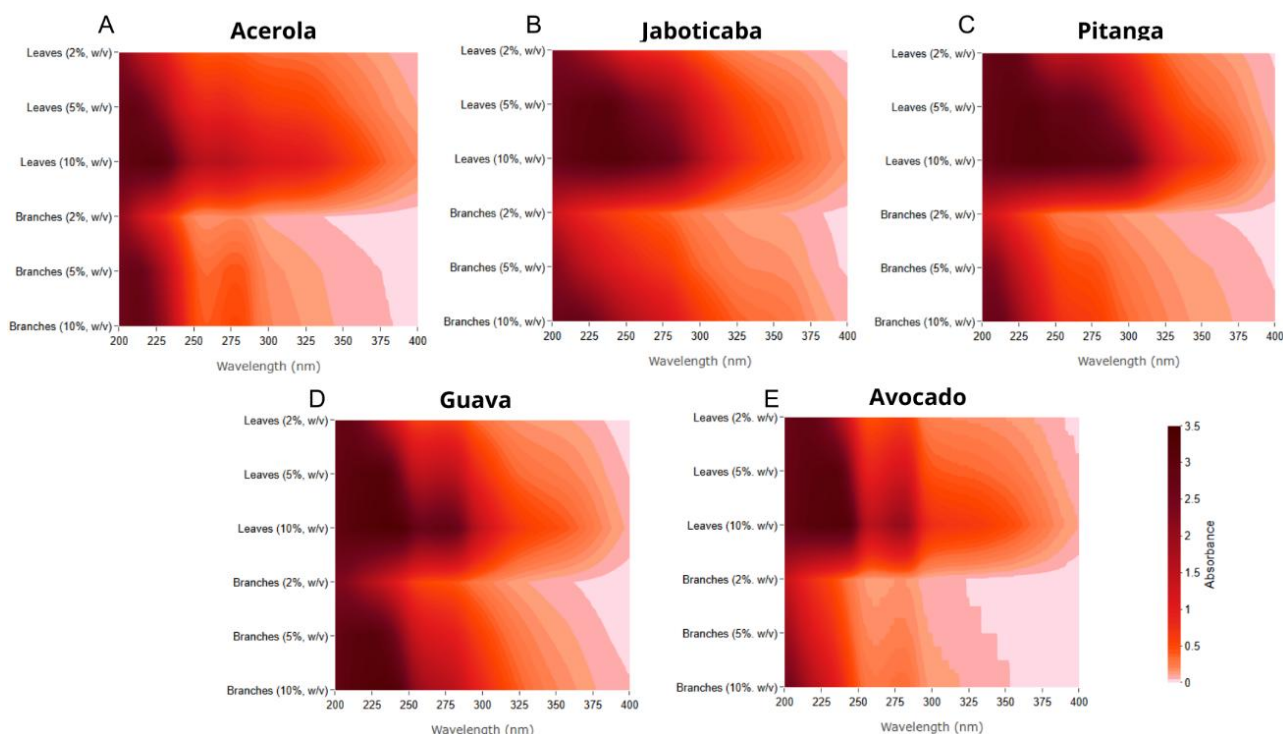
Em termos numéricos, o TPC atingiu seu máximo nos extratos de folhas de abacate, com valores variando de 162,80 a 625,91 $\mu\text{g EAG mL}^{-1}$. Corroborando os achados anteriores da PCA, os gráficos de radar para pitanga e abacate ilustram que todas as concentrações de galhos estão inteiramente contidas dentro da área definida pela menor concentração de folha (2%). Visualmente, isso é representado por todas as linhas marrons (galhos) permanecendo internas ao limite da folha a 2% (linha verde), destacando uma lacuna de potência significativa na qual até mesmo o extrato de galho mais concentrado falha em atingir o limiar do extrato de folha mais diluído.

Por outro lado, para as demais espécies, observou-se uma sobreposição mais pronunciada entre os diferentes órgãos. Nesses casos, as concentrações de folhas a 2% exibiram níveis de desempenho comparáveis às concentrações de galhos a 10%, particularmente em relação ao TPC e à capacidade antioxidante. Quanto às classes químicas e atividades biológicas específicas, as folhas de pitanga demonstraram o maior acúmulo de flavonoides totais, com valores entre 71,26 e 90,74 $\mu\text{g ER mL}^{-1}$, ao mesmo tempo em que alcançaram a maior capacidade de eliminação de radicais, com inibição do DPPH variando de 71,26% a 90,74%.

Os resultados fotoprotetores mais expressivos foram registrados para os extratos de folhas de jaboticaba, que geraram valores de FPS entre 10,10 e 38,01. Essas assinaturas reforçam que, embora as folhas sejam universalmente a fonte superior de compostos bioativos, a magnitude dessa superioridade e o grau de diferenciação específica do órgão são altamente dependentes da espécie. Essa capacidade fotoprotetora é ainda sustentada pelos perfis espectrais comparativos obtidos por meio de varredura UV entre 200 e 400 nm (Figuras 6A-E). A intensidade de absorbância é ilustrada através de mapas de calor de contorno, nos quais as regiões mais escuras representam valores de absorbância mais altos, fornecendo uma correlação visual entre a concentração do extrato e a absorbância nas regiões UV.

Figura 6 – Perfis espectrais UV comparativos (200–400 nm) de extratos aquosos de (A) acerola, (B) jaboticaba, (C) pitanga, (D) goiaba e (E) abacate. Os mapas de calor ilustram a intensidade de absorbância em função do comprimento de onda para folhas e galhos nas concentrações de 2%, 5% e 10% (m/v). A intensidade da cor indica os níveis de absorbância

Figure 6 - Comparative UV spectral profiles (200–400 nm) of aqueous extracts from (A) acerola, (B) jaboticaba, (C) pitanga, (D) guava, and (E) avocado. The heatmaps illustrate absorbance intensity as a function of wavelength for both leaves and branches at 2%, 5%, and 10% (m/v) concentrations. Color intensity indicates absorbance levels



Fonte: Elaborado pelos autores

Source: Prepared by the authors

Dentro desses comprimentos de onda, picos de absorção proeminentes foram observados em aproximadamente 250 e 275 nm, particularmente nos extratos de folhas. Enquanto a jaboticaba e a pitanga exibiram uma absorção mais homogênea e intensa ao longo de toda a faixa de 200 a 300 nm nas concentrações mais altas, um isolamento mais definido de picos individuais foi característico dos perfis de acerola, goiaba e abacate. De modo geral, a intensidade de absorbância seguiu um padrão estritamente dose-dependente para ambos os órgãos; contudo, os extratos de folhas exibiram consistentemente maior absorbância em todo o espectro em comparação com os extratos de galhos. Essa absorção robusta nas regiões UV-C (200–290 nm) e UV-B (290–320 nm) corrobora os elevados valores de SPF e destaca o potencial desses extratos aquosos de folhas como filtros ultravioletas naturais. Não foram detectados picos de absorção na faixa visível entre 400 e 800 nm.

4. Discussão

A valorização dos resíduos de poda de espécies frutíferas neotropicais, como acerola, jaboticaba, pitanga, goiaba e abacate, representa uma estratégia central para a bioeconomia circular ao transformar

subprodutos agrícolas tradicionalmente descartados em reservatórios de compostos bioativos de alto valor agregado (Aliaño-González et al., 2022). Mesmo quando utilizado, esse material é tipicamente apenas triturado e reaproveitado como composto orgânico, cobertura de solo ou como biocombustível para geração de energia (Reyes-Martín et al., 2022). No entanto, esses resíduos servem como reservatórios concentrados de metabólitos secundários sintetizados por meio de vias adaptativas complexas em resposta a estressores ambientais, permitindo que sejam reaproveitados estrategicamente como bioprodutos de alto valor (Palazon & Alcalde, 2025). A integração dos perfis minerais, do desempenho bioativo e do acúmulo fitoquímico dita a qualidade global dessa biomassa, posicionando-a como uma fonte sustentável para as indústrias cosmeceútica e nutracêutica.

A heterogeneidade na distribuição de umidade e minerais reflete os papéis fisiológicos distintos de folhas e galhos (Levinsh, 2023; Sultanbawa & Sultanbawa, 2023). Os tecidos foliares exibiram níveis de umidade significativamente mais elevados (até 59,48% em acerola) em comparação com os galhos, uma característica consistente com o intenso *turnover* metabólico da maquinaria fotossintética (Lawson & Milliken, 2023). Essa regulação da umidade está intrinsecamente ligada à concentração de nutrientes; o mapa de calor de agrupamento hierárquico (Figura 3) confirma um agrupamento de alta concentração nas folhas, particularmente na goiaba, que apresentou os maiores níveis de todos os elementos analisados. Teores elevados desses minerais, incluindo Mg, Mn, Zn e Fe, também foram descritos em diferentes cultivares de goiaba em todo o mundo (Sahal et al., 2025).

A presença de macronutrientes (Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) nesses tecidos é essencial para manter a integridade da parede celular e mediar as vias de sinalização celular (Tariq et al., 2023). Embora a ocorrência desses nutrientes não seja específica de cada espécie, sendo também relatada em vários tecidos de acerola (Laurindo et al., 2024), jaboticaba (Fernandes et al., 2022), pitanga (Pereira et al., 2022) e abacate (Araújo et al., 2018), eles desempenham um papel importante na síntese de pigmentos absorvedores de UV, como clorofilas e carotenoides, e servem como cofatores indispensáveis para enzimas antioxidantes (Tariq et al., 2023). Além disso, atuam como cofatores enzimáticos nas vias biossintéticas de fenóis e flavonoides, que mitigam de forma independente o estresse oxidativo e minimizam os danos estruturais e oxidativos induzidos pela radiação UV (Tariq et al., 2023).

Sob o ponto de vista do bioprocessamento, a padronização dos extratos com base no peso seco serviu como uma etapa fundamental para garantir que a potência química medida reflita o metabolismo secundário intrínseco da biomassa, em vez de artefatos de diluição decorrentes de flutuações na umidade ambiental no momento da colheita (Sethiya et al., 2025). A seleção da água como solvente primário neste estudo alinha-se com os princípios da Química Verde, priorizando a segurança, a relação custo-benefício e a sustentabilidade ambiental na extração de produtos naturais (Gallina et al., 2022). Além de suas vantagens ecológicas, a água recupera efetivamente uma ampla gama de compostos bioativos polares, como ácidos fenólicos e flavonoides glicosilados, que são os principais propulsores das atividades antioxidante e fotoprotetora observadas. Embora o uso de protocolos de extração mais modernos, como extração assistida por ultrassom, assistida por micro-ondas ou subcrítica, possa aumentar os rendimentos industriais (Gallina et al., 2022), o uso de sistemas aquosos garante uma biocompatibilidade superior e simplifica a integração desses bioinsumos em formulações cosmeceúticas tópicas. Essa estratégia contorna de forma eficaz as preocupações com toxicidade e os trabalhosos processos de purificação associados aos solventes orgânicos (Zhou et al., 2019), preservando a integridade bioquímica dos resíduos de poda ao mesmo tempo em que demonstra a viabilidade do desenvolvimento de ingredientes botânicos à base de água de alto desempenho para o mercado global.

A PCA revelou um gradiente robusto de bioatividade em todas as espécies ($PC1 > 83\%$), demonstrando que os conteúdos de fenólicos e flavonoides totais estão intrinsecamente ligados tanto à capacidade antioxidante quanto à eficácia fotoprotetora. Essa sinergia é explicada pelo duplo papel dos polifenóis, que atuam tanto como filtros químicos para a radiação UV quanto como sequestradores de radicais livres induzidos pela radiação (Mutha et al., 2021; Li et al., 2023). Um achado relevante deste estudo é a lacuna de potência

observada em espécies como pitanga e abacate, onde a bioatividade dos tecidos foliares é tão concentrada que mesmo os extratos foliares altamente diluídos superam as preparações de galhos mais concentradas. Esse particionamento metabólico específico por tecido é bem documentado em espécies frutíferas (Li et al., 2016). Embora as pesquisas convencionais sobre resíduos agroindustriais se concentrem predominantemente nos frutos e em seus subprodutos de processamento, investigações recentes têm explorado cada vez mais a valorização de tecidos foliares e, com menor frequência, de tecidos lignificados de galhos.

Esse particionamento anatômico dita perfis fitoquímicos distintos entre as espécies estudadas. Por exemplo, as folhas de pitanga caracterizam-se por um acúmulo proeminente de glicosídeos de miricitina e quercetina, além dos ácidos clorogênico, gálico e quínico (Garmus et al., 2019), demonstrando uma grande sobreposição metabólica com o perfil foliar da goiaba, que apresenta guaijaverina, avicularina, caempferol e ácido clorogênico (Kareem & Kadhim, 2024; Sahal et al., 2025). Os tecidos de acerola expandem esse modelo compartilhado de polifenóis ao abrigar uma alta diversidade de subclasses estruturais, incluindo catequinas monoméricas, antocianinas e flavonas como apigenina e luteolina (Laurindo et al., 2024), enquanto os perfis de abacate integram essas vias de maneira semelhante através da biossíntese de rutina, catequina, glicosídeos de luteolina e derivados do ácido cinâmico (Castro-López et al., 2019). A jaboticaba, por sua vez, fornece um modelo claro de particionamento intra-planta, no qual suas folhas exibem uma maior densidade de flavonóis, especificamente derivados de quercetina e miricitina, enquanto os galhos mais lignificados são distintamente enriquecidos com taninos condensados e hidrolisáveis, derivados de flavan-3-ol, ácido elágico e elagitaninos complexos como castalagina e casuarictina (Fernandes et al., 2022; Paula et al., 2021).

Esses perfis fitoquímicos especializados e seu subsequente desempenho antioxidante são fortemente influenciados pelos parâmetros de extração e pelos sistemas de solventes empregados. Relatos na literatura avaliando diferentes métodos de extração confirmam que sistemas aquosos e hidroalcoólicos, incluindo infusões tradicionais, decocções e macerações, recuperam eficientemente quantidades substanciais de fenólicos e flavonoides totais. Consequentemente, a alta concentração desses metabólitos secundários polares se traduz diretamente na robusta capacidade antioxidante observada nos extratos foliares de acerola (Barros et al., 2020), jaboticaba (Paula et al., 2021), pitanga (Schumacher et al., 2015; Zanusso et al., 2023), goiaba (Sahal et al., 2025) e abacate (Obboh et al., 2016). Esse consenso valida o uso de protocolos de extração aquosa verde para capturar com sucesso o potencial bioativo desses resíduos de poda.

Nas plantas, os compostos fenólicos acumulam-se principalmente abaixo da camada epidérmica das folhas após a exposição à radiação UVB. Eles atuam tanto como filtros ultravioleta quanto como antioxidantes, mitigando danos ao DNA, lipídios e proteínas (Singh et al., 2023). Traduzindo esse mecanismo de proteção biológica para o presente estudo, a correlação observada entre os perfis espectrais ultravioleta de 200 a 400 nm e os valores calculados de SPF valida esses extratos aquosos como filtros ultravioletas naturais eficazes, particularmente aqueles derivados de folhas. Os picos de absorção proeminentes nas regiões UVC e UVB, notadamente nos extratos de jaboticaba que exibem um SPF de até 38,01, sugerem fortemente a presença de cromóforos capazes de atenuar a radiação de alta energia.

Essa capacidade fotoprotetora está intrinsecamente ligada às propriedades estruturais específicas dos metabólitos secundários. Por exemplo, a estrutura básica dos flavonoides, representada pelas flavonas, pode exibir níveis de absorção de UVB 15 vezes maiores do que a sua absorção de UVA (Csepregi & Hideg, 2018). Espectrofotometricamente, os flavonoides exibem duas bandas principais de absorção: a banda II de 240 a 295 nm e a banda I de 300 a 380 nm, frequentemente estendendo-se em uma cauda que atinge de 400 a 450 nm (Taniguchi et al., 2023). Geralmente, subclasses como flavonóis, flavonas, flavanonas, catequinas e isoflavonas exibem máximos de absorção típicos entre 240 a 280 nm e 300 a 400 nm (Csepregi & Hideg, 2018; Li et al., 2023; Ghazi, 2022). Consequentemente, existe uma ligação estrutural direta entre a absorção robusta na faixa do UVB e a presença de moléculas como os ácidos hidroxibenzoicos e os di-hidroflavonóis (Csepregi & Hideg, 2018). Além disso, características estruturais específicas, como a presença de uma ligação dupla entre C2 e C3, um grupo oxo em C4 e múltiplas substituições de hidroxila no anel B (estrutura catecol),

umentam sinergicamente a absorção em comprimentos de onda ultravioleta mais longos, ao mesmo tempo em que potencializam a capacidade antioxidante contra espécies reativas de oxigênio (Csepregi & Hideg, 2018).

5. Conclusão

Este estudo demonstra que os resíduos da poda de espécies frutíferas neotropicais não são meros subprodutos agrícolas, mas sim reservatórios altamente concentrados e sustentáveis de valiosos compostos bioativos. A distinta partição metabólica específica de cada tecido revela que os tecidos foliares, impulsionados por uma rica matriz mineral e uma alta densidade de fenóis e flavonoides estruturalmente diversos, possuem capacidades antioxidantes e propriedades fotoprotetoras superiores. Em última análise, essas descobertas validam a reutilização estratégica dos resíduos da poda como ingredientes biocompatíveis de alto desempenho, preenchendo a lacuna entre a gestão de resíduos agrícolas e as demandas das indústrias globais de cosmeceuticos e nutracêuticos dentro de uma estrutura de bioeconomia circular.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Código Financeiro 001) e à Rede BioDiversa Centro-Oeste (Projeto CAPES nº 88887.964845/2024-00 e Processo nº 88887.129820/2025-00; e Processo FUNDECT nº. 83/034.923/2024) pela bolsa de pós-doutorado concedida a SMS. A Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa concedida ao CALC (Processo nº 306065/2025-8) e a bolsa de iniciação científica concedida a LRSG (Bolsista PIBIC–CNPq/UEMS, MS, Brasil).

7. Referências

- Aliaño-González, M., Gabaston, J., Ortiz-Somovilla, V., & Cantos-Villar, E. (2022). Wood waste from fruit trees: biomolecules and their applications in agri-food industry. **Biomolecules**, 12 (2). <https://doi.org/10.3390/biom12020238>
- Araújo, R. G., Rodriguez Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. **Trends in Food Science & Technology**, 80, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Barros, B.R.S., do Nascimento, D.K.D., de Araújo, D.R.C., da Costa Batista, F.R., de Oliveira Lima, A.M.N., da Cruz Filho, I.J., de Oliveira, M.L., & de Melo, C.M.L. (2020). Phytochemical analysis, nutritional profile and immunostimulatory activity of aqueous extract from *Malpighia emarginata* DC leaves. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 23, 101442. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2019.101442>
- Blois, M.S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. **Nature**, 181, 1199-1200. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>
- Bornal, D.R., Silvestrini, M.M., Pio, L.A.S., Costa, A.C., Peche, P.M., & Ramos, M.C.P. (2021). Brazilian position in the international fresh fruit trade network. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 43 (5), e-021. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021021>

- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., & De Vos, R. (2008). Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 56 (3), 964–973.
- Castro-López, C., Bautista-Hernández, I., González-Hernández, M. D., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R., Gutiérrez-Díez, A., Medina-Herrera, N., & Aguirre-Arzola, V. E. (2019). Polyphenolic profile and antioxidant activity of leaf purified hydroalcoholic extracts from seven mexican *Persea americana* cultivars. **Molecules**, 24 (1), 173. <https://doi.org/10.3390/molecules24010173>
- Christ, B., & Müller, K.H. (1960). Zur serienmäßigen Bestimmung des Gehaltes an Flavonol - Derivaten in Drogen. **Archiv der Pharmazie**, 293 (12), 1033. <https://doi.org/10.1002/ARDP.19602931202>
- Csepregi, K., & Hideg, É. (2018). Phenolic compound diversity explored in the context of photo-oxidative stress protection. **Phytochemical Analysis**, 29 (2), 129-136. <https://doi.org/10.1002/pca.2720>
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. **Food Chemistry**, 97 (4), 654. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2005.04.028>
- Farinelli, D., Portarena, S., da Silva, D.F., Traini, C., da Silva, G.M., da Silva, E.C., da Veiga, J.F., Pollegioni, P., & Villa, F. (2021). Variability of fruit quality among 103 acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) phenotypes from the subtropical region of Brazil. **Agriculture**, 11 (11), 1078. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11111078>
- Fernandes, I.A.A., Maciel, G.M., Maroldi, W.V., Bortolini, D.G., Pedro, A.C., & Haminiuk, C.W.I. (2022). Bioactive compounds, health promotion properties and technological applications of Jabuticaba: A literature overview. **Measurement: Food**, 8, 100057. <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2022.100057>
- Ferreira, I.C., Pereira da Silva, V., Vilvert, J.C., de França Souza, F., de Freitas, S.T., & dos Santos Lima, M., (2021). Brazilian varieties of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) produced under tropical semi-arid conditions: Bioactive phenolic compounds, sugars, organic acids, and antioxidant capacity **Journal of Food Biochemistry**, 45 (8), e13829. <https://doi.org/10.1111/JFBC.13829>
- Fischer, I.H., & Firmino, C. A. (2023). Main diseases of avocado in Brazil. **Revisão Anual de Patologias de Plantas**, 29, 106-130. <https://doi.org/10.31976/0104-038321v290005>
- Franzon, R.C., Carpenedo, S., Raseira, M. do C.B., & Viñoly, M.D. (2018). Pitanga—*Eugenia uniflora* L. **Exotic Fruits**, 333–338. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00044-7>
- Gallina, L., Cravotto, C., Capaldi, G., Grillo, G., & Cravotto, G., 2022. Plant extraction in water: towards highly efficient industrial applications. **Processes**, 10 (11), 2233. <https://doi.org/10.3390/pr10112233>
- Garmus, T.T., Kopf, S.F.M., Paula, J.T., Aguiar, A.C., Duarte, G.H.B., Eberlin, M.N., & Cabral, F.A. (2019). Ethanolic and hydroalcoholic extracts of pitanga leaves (*Eugenia uniflora* L.) and their fractionation by supercritical technology. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 36 (2), 1041. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190362S20180159>

- Ghazi, S. (2022). Do the polyphenolic compounds from natural products can protect the skin from ultraviolet rays? **Results in Chemistry**, 4, 100428. <https://doi.org/10.1016/J.RECHEM.2022.100428>
- Ievinsh, G. (2023). Water content of plant tissues: so simple that almost forgotten? **Plants**, 12 (6), 1238. <https://doi.org/10.3390/plants12061238>
- Kareem, A. T., & Kadhim, E. J. (2024). *Psidium guajava*: A review on its pharmacological and phytochemical constituents. **Biomedical & Pharmacology Journal**, 17 (2), 1079-1090. <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/2924>
- Laurindo, L. F., Takeda, L. N., Machado, N. M., Otoboni, A. M. M. B., Goulart, R. A., Catharin, V. C. S., Silva, L. R., Barbalho, S. M., & Direito, R. (2024). Health benefits of acerola (*Malpighia* spp) and its by-products: A comprehensive review of nutrient-rich composition, pharmacological potential, and industrial applications. **Food Bioscience**, 62, 105422. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105422>
- Lawson, T., & Milliken, A.L. (2023). Photosynthesis – beyond the leaf. **New Phytologist**, 238 (1), 55. <https://doi.org/10.1111/NPH.18671>
- Li, D., Heiling, S., Baldwin, I. T., & Gaquerel, E. (2016). Illuminating a plant's tissue-specific metabolic diversity using computational metabolomics and information theory. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 113 (47), E7610. <https://doi.org/10.1073/pnas.1610218113>
- Li, L., Chong, L., Huang, T., Ma, Y., Li, Y., & Ding, H. (2023). Natural products and extracts from plants as natural UV filters for sunscreens: A review. **Animal Models and Experimental Medicine**, 6 (3), 183-195. <https://doi.org/10.1002/AME2.12295>
- Libutti, A., Cammerino, A. R. B., & Monteleone, M. (2021). Management of Residues from Fruit Tree Pruning: A Trade-Off between Soil Quality and Energy Use. **Agronomy**, 11 (2), 236. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020236>
- Luiz, J., & Milani, C. (2022). Brazilian Foreign Policy and Family Farming: Internationalisation Processes through the Analysis of 'Forums and Arenas'. **Contexto Internacional**, 44 (1). <https://doi.org/10.1590/s0102-8529.20224401e20200101>
- Malavolta, E., Vitti, G.C., & Oliveira, S.A. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas (2a ed.). Piracicaba: Potafos.
- Mansur, J.S., Breder, M.N.R., Mansur, M.C.A., & Azulay, R.D. (1986). Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, 61 (3), 121-124.
- Mutha, R. E., Tatiya, A. U., & Surana, S. J. (2021). Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview. **Future Journal of Pharmaceutical Sciences**, 7 (1), 25. <https://doi.org/10.1186/s43094-020-00161-8>
- Oboh, G., Odubango, V. O., Bello, F., Ademosun, A. O., Oyeleye, S. I., Nwanna, E. E., & Ademiluyi, A. O. (2016). Aqueous extracts of avocado pear (*Persea americana* Mill.) leaves and seeds exhibit anticholinesterases and antioxidant activities in vitro. **Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology**, 27 (2), 131. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2015-0049>

- Palazon, J., & Alcalde, M. A. (2025). Secondary metabolites in plants. **Plants**, 14 (14), 2146. <https://doi.org/10.3390/plants14142146>
- Paula, P.L., de Oliveira Lemos, A. S., Campos, L. M., Ferreira, T. G., Freitas de Souza, T., Queiroz, L. S., Machado Resende Guedes, M. C., Martins, M. M., Goulart Filho, L. R., Macedo, G. C., Tavares, G. D., Rocha, V. N., Leite Denadai, Â. M., & Fabri, R. L. (2021). Pharmacological investigation of antioxidant and anti-inflammatory activities of leaves and branches extracts from *Plinia cauliflora* (Jaboticaba). **Journal of Ethnopharmacology**, 280, 114463. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114463>
- Pereira, E. S., Raphaelli, C. O., Vinholes, J. R., Ribeiro, J. A., Fiorentini, A. M., Nora, L., & Vizzotto, M. (2022). *Eugenia uniflora* L. fruit: A review on its chemical composition and bioactivity. **The Natural Products Journal**, 12 (2), e070921196205. <https://doi.org/10.2174/2210315511666210907095136>
- Petry, H., Baratti, A., Brighenti, A., Gonzatto, M., Citadin, I., & Souza, A. (2025). Brazilian fruit agribusiness. **Fruit Crops Science Journal**. <https://doi.org/10.1590/3085-89092025001>
- Reyes-Martín, M. P., Ortiz-Bernad, I., Lallena, A. M., San-Emeterio, L. M., Martínez-Cartas, M. L., & Ondoño, E. F. (2022). Reuse of pruning waste from subtropical fruit trees and urban gardens as a source of nutrients: changes in the physical, chemical, and biological properties of the soil. **Applied Sciences**, 12 (1), 193. <https://doi.org/10.3390/app12010193>
- Sahal, A., Chaudhary, S., Hussain, A., Arora, S., Dobhal, A., Ahmad, W., Kumar, V., & Kumar, S. (2025). A comprehensive review on the nutritional composition, bioactive potential, encapsulation techniques, and food system applications of guava (*Psidium guajava* L.) leaves. **Grain & Oil Science and Technology**, 8 (1), 64. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2024.12.003>
- Sayre, R.M., Agin, P.P., LeVee, G.J., & Marlowe, E. (1979). A comparison of in vivo and in vitro testing of sunscreens formulas. **Photochemistry and Photobiology**, 29 (3), 559. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1979.tb07090.x>
- Schumacher, N. S. G., Colomeu, T. C., De Figueiredo, D., Carvalho, V. D. C., Cazarin, C. B. B., Prado, M. A., Meletti, L. M. M., & Zollner, R. D. L. (2015). Identification and antioxidant activity of the extracts of *Eugenia uniflora* leaves. characterization of the anti-inflammatory properties of aqueous extract on diabetes expression in an experimental model of spontaneous type 1 diabetes (NOD Mice). **Antioxidants**, 4 (4), 662. <https://doi.org/10.3390/antiox4040662>
- Sethiya, N.K., Agarwal, G., Bhargava, S., Rana, V.S., Kumar, B., Singhal, M., Bisht, D., & Patil, U.K. (2025). Preparation of extracts and their standardization. **Wiley**, 75–89. <https://doi.org/10.1002/9781119769484>
- Sharma, R., & Malaviya, P. (2023). Ecosystem services and climate action from a circular bioeconomy perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 175, 113164. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2023.113164>
- Silva, J.A.A., Teixeira, G.H. de A., Martins, A.B.G., Citadin, I., Wagner Júnior, A., & Danner, M.A. (2019). Advances in the propagation of jaboticaba tree. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 41 (3). <https://doi.org/10.1590/0100-29452019024>

- Singh, P., Singh, A., & Choudhary, K. (2023). Revisiting the role of phenylpropanoids in plant defense against UV-B stress. **Plant Stress**, 7, 100143. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100143>
- Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16, 144. <https://doi.org/10.5344/AJEV.1965.16.3.144>
- Sultanbawa, F., & Sultanbawa, Y. (2023). Mineral nutrient-rich plants – Do they occur? **Applied Food Research**, 3 (2), 100347. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100347>
- Taniguchi, M., LaRocca, C., Bernat, J., & Lindsey, J. (2023). Digital database of absorption spectra of diverse flavonoids enables structural comparisons and quantitative evaluations. **Journal of Natural Products**, 86 (4), 1087. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00720>
- Tariq, A., Zeng, F., Graciano, C., Ullah, A., Sadia, S., Ahmed, Z., Murtaza, G., Ismoilov, K., & Zhang, Z. (2023). Regulation of metabolites by nutrients in plants. **Wiley**, 1–18. <https://doi.org/10.1002/9781119803041.CH1>
- Vitti, K.A., de Lima, L.M., & Filho, J.G.M. (2020). Agricultural and economic characterization of guava production in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 42 (1), e-447. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020447>
- Zanusso, P.W., Mariño, P.A., Maldaner, G., & Gonçalves, R.P. (2023). Avaliação fitoquímica de extratos das folhas de *Eugenia uniflora* L. **Research, Society and Development**, 12 (4), e14012441060. <https://doi.org/10.33448/RSD-V12I4.41060>
- Zhou, F., Hearne, Z., & Li, C-J. (2019). Water - the greenest solvent overall. **Current Opinion In Green And Sustainable Chemistry**, 18, 118-123. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.05.004>