



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

Recredenciada pela Portaria – MEC n.º 747, de 10/09/2020 – D.O.U. 11/11/2020

Mantenedora: UNIPAR – SOCIEDADE EMPRESARIAL LTDA.

Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa

Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura

Luana Gobo Pessanha

Influência dos métodos de extração no potencial bioativo de frutos de *Eugenia uniflora*

Umuarama

2026

Luana Gobo Pessanha

Influência dos métodos de extração no potencial bioativo de frutos de *Eugenia uniflora*

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do grau de mestre em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pela Universidade Paranaense - UNIPAR.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Luiz Botelho Lourenço

Umuarama
2026

Ficha Catalográfica

P475i Pessanha, Luana Gobo.

Influência dos métodos de extração no potencial bioativo de frutos de *Eugenia uniflora* / Luana Gobo Pessanha. – Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2026.
30 f.

Orientador: Dr. Emerson Luiz Botelho Lourenço.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Paranaense – UNIPAR.

1. Turbo-extração. 2. Antioxidante. 3. Antimicrobiano. 4. Pitanga. 5. Bioprodutos. I. Universidade Paranaense – UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 634.42

Bibliotecária Responsável Regiane Luiza Campaneli CRB 9/2194

Influência dos métodos de extração no potencial bioativo de frutos de *Eugenia uniflora*

Dissertação aprovada como requisito obrigatório para obtenção do Grau Mestre no Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense – UNIPAR, pela seguinte banca examinadora:

Dra. Jaqueline Hoscheid
Universidade Paranaense - UNIPAR

Dra. Márcia Regina Fagundes Klen
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste

Dr Emerson Luiz Botelho Lourenço
Universidade Paranaense – UNIPAR

Umuarama, 08 de Maio 2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta jornada, iluminando meu caminho nos momentos de dificuldade e guiando minhas escolhas.

À minha mãe, tia e avó pelo amor incondicional, apoio constante e por me incentivar a seguir em frente e acreditar no meu potencial.

Ao meu marido, pelo companheirismo, paciência e compreensão em todos os momentos, especialmente nos mais desafiadores, sendo meu porto seguro ao longo desta caminhada.

À minha irmã e minhas primas que trilharam esse percurso comigo, especialmente a Raffaella Gobo Otávio da Silva que foi fundamental para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, pela confiança, orientação e contribuições essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa, além de todo o aprendizado compartilhado.

Aos colaboradores do laboratório, pela parceria, principalmente Mariana Dalmagro pela ajuda diária, troca de conhecimentos e por tornarem o ambiente de trabalho mais leve e produtivo, contribuindo diretamente para a execução deste estudo.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
CAPÍTULO I	8
INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS	11
Coleta e preparo da amostra vegetal	11
Métodos extrativos	11
Infusão (INF)	11
Infusão com precipitação (I+P)	12
Maceração	12
Turbo- extração	12
Rendimento extrativo	12
Avaliação da Atividade Antioxidante	13
<i>Ensaio FRAP</i>	13
<i>Ensaio ABTS</i>	13
<i>Ensaio DPPH</i>	13
Atividade Antimicrobiana	14
<i>Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM)</i>	14
Análise estatística	15
RESULTADOS	16
Rendimento dos extratos	16
Atividade Antioxidante	16
Atividade Antimicrobiana	17
<i>Concentração Inibitória Mínima (CIM)</i>	17
DISCUSSÃO	20
Rendimento dos extratos	20
Atividade Antioxidante	21
Atividade Antimicrobiana	23
<i>Concentração Inibitória Mínima (CIM)</i>	23
CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS	26

Luana Gobo Pessanha

Influência dos métodos de extração no potencial bioativo de frutos de *Eugenia uniflora*

RESUMO: O reino vegetal é uma fonte prolífica de bioativos para a indústria de bioprodutos, destacando-se *Eugenia uniflora* L. (pitanga) pela sua composição rica em flavonoides e taninos. No entanto, a atividade desses compostos depende das condições de extração. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes técnicas de extração (maceração, infusão, infusão com precipitado e homogeneização de alta dispersão/turboextração) e do solvente extrator (água e etanol 70%) na atividade antioxidante e antimicrobiana dos frutos de *E. uniflora*. Os frutos foram coletados em Umuarama (Paraná, Brasil; coordenadas geográficas 23°46'09,1" S, 53°16'38,4" O). O material foi congelado, liofilizado e pulverizado antes das extrações. A atividade antioxidante foi determinada pelos ensaios DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), FRAP (Poder Antioxidante de Redução do Ferro) e ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)). A atividade antimicrobiana foi avaliada pela determinação da Concentração Inibitória Mínima frente a microrganismos de relevância cutânea, utilizando o método de microdiluição em caldo. O extrato obtido por turboextração em etanol apresentou maior atividade no ensaio de DPPH ($54,16 \pm 10,58 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$) e no FRAP ($96,83 \pm 0,00 \mu\text{mol Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$), enquanto a maceração apresentou maior atividade no ensaio de ABTS ($170,59 \pm 8,02 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$). Em relação à atividade antimicrobiana, os extratos etanólicos apresentaram menores valores de concentração inibitória mínima, com destaque para *Escherichia coli* ($6,51 \mu\text{g/mL}$) e *Staphylococcus epidermidis* ($15,63 \mu\text{g/mL}$), enquanto os extratos aquosos não apresentaram atividade nas condições avaliadas, não sendo observada inibição de *Candida albicans*. Os resultados demonstram que o solvente extrator exerce influência significativa na obtenção de compostos bioativos dos frutos de *E. uniflora*, com destaque para o etanol. A turboextração apresentou desempenho mais consistente entre os ensaios antioxidante e antimicrobiano, favorecendo a obtenção de extratos com maior potencial bioativo. Esses achados reforçam a relevância da combinação entre solvente e técnica de extração na modulação das atividades biológicas.

Palavras-chave: Turbo-extração. Antioxidante. Antimicrobiano. Pitanga. Bioprodutos.

Influence of extraction methods on the bioactive potential of *Eugenia uniflora* fruits

ABSTRACT: The plant kingdom is a prolific source of bioactive compounds for the bioproduct industry, with *Eugenia uniflora* L. (pitanga) standing out due to its high content of flavonoids and tannins. However, the activity of these compounds depends on the extraction conditions. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of different extraction techniques (maceration, infusion, infusion with precipitation, and high-shear homogenization/turboextraction) and extraction solvents (water and 70% ethanol) on the antioxidant and antimicrobial activities of *E. uniflora* fruits. The fruits were collected in Umuarama, Paraná, Brazil (23°46'09.1" S, 53°16'38.4" W). The material was frozen, lyophilized, and powdered prior to extraction. Antioxidant activity was determined using DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), and ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) assays. Antimicrobial activity was evaluated by determining the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) against microorganisms of cutaneous relevance using the broth microdilution method. The ethanolic turboextraction showed the highest activity in the DPPH assay ($54.16 \pm 10.58 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$) and FRAP assay ($96.83 \pm 0.00 \mu\text{mol Fe}^{2+} \text{g}^{-1}$), while maceration showed the highest activity in the ABTS assay ($170.59 \pm 8.02 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$). Regarding antimicrobial activity, the ethanolic extracts exhibited lower minimum inhibitory concentration values, particularly against *Escherichia coli* (6.51 $\mu\text{g/mL}$) and *Staphylococcus epidermidis* (15.63 $\mu\text{g/mL}$), whereas the aqueous extracts showed no activity under the evaluated conditions, and no inhibition was observed against *Candida albicans*. The results demonstrate that the extraction solvent exerts a significant influence on the recovery of bioactive compounds from *Eugenia uniflora* fruits, with ethanol showing the best performance. Turbo extraction showed the most consistent performance across the antioxidant and antimicrobial assays, favoring the obtainment of extracts with greater bioactive potential. These findings reinforce the importance of combining the appropriate solvent and extraction technique to modulate biological activities.

Keywords: Turboextraction. Antioxidant. Antimicrobial. Pitanga. Bioproducts.

CAPÍTULO I

Influência dos métodos de extração no potencial bioativo de frutos de *Eugenia uniflora*

RESUMO: Este estudo investigou a atividade bioativa de extratos de *Eugenia uniflora*, avaliando a influência de diferentes métodos de extração (maceração, infusão, infusão com precipitado e homogeneização de alta dispersão por turboextração) e dos solventes extratores (água e etanol 70%) sobre as atividades antioxidante e antimicrobiana dos frutos. Os frutos foram coletados em Umuarama, (Paraná, Brasil; coordenadas geográficas 23°46'09,1" S, 53°16'38,4" O) o material vegetal foi congelado, liofilizado e pulverizado antes das extrações. Os resultados demonstraram que o método de extração e, principalmente, a polaridade do solvente influenciam o desempenho dos extratos. O extrato obtido por turboextração em etanol apresentou maior atividade nos ensaios DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) ($54,16 \pm 10,58 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$) e FRAP (Poder Antioxidante de Redução do Ferro, do inglês *Ferric Reducing Antioxidant Power*) ($96,83 \pm 0,00 \mu\text{mol Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$), enquanto a maceração apresentou maior atividade no ensaio ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) ($170,59 \pm 8,02 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$). Os demais extratos exibiram atividades intermediárias ou reduzidas, especialmente no ensaio DPPH. Em relação à atividade antimicrobiana, os extratos etanólicos apresentaram menores valores de concentração inibitória mínima, com destaque para *Escherichia coli* (6,51 $\mu\text{g/mL}$) e *Staphylococcus epidermidis* (15,63 $\mu\text{g/mL}$), enquanto que os extratos aquoso não apresentaram atividade nas condições avaliadas, não sendo observada inibição de *Candida albicans*. Os resultados indicam que o etanol exerce papel central na atividade dos extratos de *E. uniflora*, enquanto a turboextração favorece a obtenção de extratos com maior atividade antioxidante e antimicrobiana, evidenciando seu potencial para aplicações biotecnológicas.

Palavras Chaves: Turbo-extração. Antioxidante. Antimicrobiano. Bioatividade. Bioprodutos.

INTRODUÇÃO

O reino vegetal constitui uma das mais ricas fontes de compostos bioativos, com relevância para aplicações terapêuticas e tecnológicas (Silva-Rodrigues, 2024), além de fornecer estruturas químicas importantes para o desenvolvimento de fármacos inovadores (Antonio *et al.*, 2021). Atualmente, as investigações concentram-se na identificação de metabólitos secundários com propriedades antioxidantes e antimicrobianas, visando atender à crescente demanda global por formulações naturais, sustentáveis e seguras (Michalak, 2022).

Nesse cenário, a *Eugenia uniflora* L., conhecida popularmente como pitangueira, destaca-se como uma espécie nativa representativa da flora brasileira (Embrapa, 2024). A espécie possui uma composição fitoquímica complexa, rica em flavonoides, taninos e óleos essenciais (Fidelis *et al.*, 2022). Evidências recentes associam seus extratos a propriedades funcionais significativas, incluindo a modulação de processos inflamatórios e o combate ao estresse oxidativo (Gonçalves *et al.*, 2025). Além das folhas, o fruto da pitanga é reconhecido como uma fonte densa de compostos fenólicos e vitaminas, cujo perfil metabólico varia conforme o estágio de maturação e variedade (Pereira, 2020).

A eficácia biológica desses compostos é influenciada não apenas pela fonte vegetal, mas também pelo método de extração (Fidelis *et al.*, 2022). A seletividade dos solventes e o emprego de técnicas como a homogeneização de alta dispersão como o Ultra-turrax impactam diretamente a recuperação de moléculas bioativas. Nesse contexto, a polaridade do solvente regula a extração de antioxidantes específicos, justificando a aplicação de ensaios complementares, como DPPH, ABTS e FRAP, para a caracterização do potencial redox (Dalmagro *et al.*, 2024).

Adicionalmente, a investigação da atividade desses extratos frente a microrganismos associados ao desequilíbrio da microbiota cutânea torna-se relevante no contexto atual. A crescente limitação da eficácia de compostos sintéticos tradicionais têm impulsionado a busca por alternativas naturais seguras e eficazes (Najmi *et al.*, 2022). Nesse sentido, a determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) em extratos vegetais constitui uma abordagem fundamental para avaliar o potencial bioativo de espécies como a *E. uniflora*, contribuindo para sua aplicação na substituição

de conservantes convencionais e no desenvolvimento de agentes terapêuticos (Araujo *et al.*, 2021).

Apesar do reconhecido valor etnobotânico de *E. uniflora*, ainda há lacunas quanto à padronização de seus extratos para aplicações terapêuticas, especialmente no que se refere à influência dos métodos de extração sobre o perfil bioativo. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a atividade antioxidante e antimicrobiana de extratos dos frutos de *E. uniflora* obtidos por diferentes técnicas de extração, visando contribuir para o desenvolvimento de formulações naturais eficazes e para a valorização da biodiversidade brasileira.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo da amostra vegetal

Frutos *in natura* de *E. uniflora* foram coletados em Umuarama (Paraná, Brasil; coordenadas geográficas 23°46'09,1" S, 53°16'38,4" O). O espécime foi depositado no Herbário da Universidade Paranaense sob o número 12, O projeto encontra-se cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o protocolo A625A5A.

As polpas maduras (variedade Pitanga Vermelha), foram removidas das sementes manualmente. Os frutos foram congelados, liofilizados e posteriormente submetidos à pulverização em moinho de facas (Teixeira *et al.*, 2026). A fração com granulometria de 0,53 mm foi obtida por agitação em série de peneiras padrão Tyler (Bertel, Caieiras, SP, Brasil), sendo posteriormente empregada nas extrações.

Métodos extrativos

Os extratos foram preparados utilizando água destilada e etanol 70% como solvente e proporção de 1:10 (p/v) soluto/solvente. O grau alcoólico foi determinado com base em estudos anteriores (Bagetti *et al.*, 2011). Após a extração, as amostras foram submetidas a filtração a vácuo seguidos de evaporação (Rotaevaporador Nova Ética) para os extratos alcoólicos e liofilização (Liofilizador JJ Científica, modelo LJJ02) para todos os extratos. Os extratos foram armazenados a -20 °C até análise. Todos os extratos foram preparados em triplicatas independentes.

Infusão (INF)

Para preparar a infusão, foi vertida água a 90 °C sobre o material vegetal e o recipiente permaneceu fechado por 6 horas até atingir a temperatura ambiente (Anvisa, 2019).

Infusão com precipitação (I+P)

A infusão ocorreu conforme descrito no item anterior. Posteriormente, as amostras foram filtradas e a infusão foi tratada com etanol 95% na proporção 1:3 (infusão:etanol) para precipitação de proteínas e polissacarídeos e filtrado após dois dias, em seguida, o extrato foi submetido à evaporação e liofilização (Pinc *et al.*, 2023).

Maceração

Para a obtenção do extrato, o material vegetal foi submetido à extração com etanol 70% como solvente. A maceração foi conduzida em recipiente hermeticamente vedado, mantido à temperatura ambiente e protegido da luz por um período de 7 dias, sem renovação do solvente ao longo do processo, posteriormente as triplicatas foram filtradas e submetidas evaporação e liofilização (Tominc *et al.*, 2022).

Turbo- extração

A turbolização foi realizada utilizando um dispersor digital Ultra-Turrax® T25 (IKA) equipado com elemento dispersante modelo 18G (IKA). O processo foi conduzido a 12.000 RPM e o tempo de extração foi de 10 minutos em temperatura ambiente. A filtração foi realizada imediatamente após a extração para ambos os solventes (Jacobucci *et al.* 2024).

Rendimento extrativo

O rendimento extrativo (%) foi calculado gravimetricamente, sendo a razão entre a massa do extrato liofilizado (g) e a massa do material vegetal seco (g), multiplicada por 100 (p/p, %).

Avaliação da Atividade Antioxidante

Ensaio FRAP

A atividade antioxidante pelo método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) foi mensurada conforme Santos *et al.* (2016), com adaptações. A 90 μL do extrato (1 mg/mL) foram adicionados 270 μL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP, este preparado a partir da mistura de 25 mL de tampão acetato (0,3 M, pH 3,6), 2,5 mL de solução de TPTZ (10 mM em HCl 40 mM) e 2,5 mL de cloreto férrico (20 mM). A mistura foi incubada a 37 °C por 30 minutos e a leitura da absorbância foi realizada a 595 nm. A quantificação foi efetuada por meio de curva padrão de sulfato ferroso (100–2000 μM), com os resultados expressos em $\mu\text{mol Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$ de extrato.

Ensaio ABTS

A capacidade sequestradora do radical ABTS+ 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)) foi avaliada conforme o método de Re *et al.* (1999). Alíquotas 10 μL de cada amostra (1 mg/mL) foi adicionado 1,0 mL da solução de ABTS+. Após homogeneização, a mistura foi incubada por 6 minutos no escuro, à temperatura ambiente, e a absorbância foi lida a 734 nm. O etanol foi utilizado como branco. Os resultados foram obtidos por meio de curva padrão de Trolox (100–2000 μM) e expressos em $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ de extrato seco. Todas as análises antioxidantes foram realizadas em triplicata.

Ensaio DPPH

A capacidade de eliminação do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) foi avaliada segundo o protocolo descrito por Silveira *et al.* (2018). A 150 μL de extrato (1 mg/mL) foram adicionados 5,85 μL de solução etanólica de DPPH (0,06 mM). A mistura foi incubada em repouso, ao abrigo da luz e à temperatura ambiente, por 30 minutos. A absorbância foi determinada em espectrofotômetro UV-Vis a 515 nm, utilizando-se o etanol como branco. Os resultados foram calculados a partir de uma curva padrão de Trolox (50 a 1000 μM) e expressos em $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$.

Como controle positivo, foi utilizada quercetina (pureza $\geq 95\%$; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA) na concentração de $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ em todos os ensaios de atividade antioxidante, com a finalidade de validar a resposta dos métodos empregados.

Atividade Antimicrobiana

Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM)

A atividade antimicrobiana foi avaliada frente às cepas Cefar® *Staphylococcus aureus* (CCCD-S007), *Staphylococcus epidermidis* (CCCD-S010), *Escherichia coli* (CCCD-E003), *Pseudomonas aeruginosa* (CCCD-1004), *Candida albicans* (CCCD-CC001) e *Salmonella enterica* subsp. *enterica* (CCCD-50016). A concentração inibitória mínima (CIM) foi determinada pelo método de microdiluição em caldo, utilizando placas de 96 poços, conforme as diretrizes do *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI, 2012), com adaptações.

Em cada poço da microplaca de 96 poços foram adicionados $100 \mu\text{L}$ de caldo BHI (*Brain Heart Infusion*) para bactérias ou caldo Sabouraud dextrose para leveduras. A partir da segunda coluna, foram adicionados $100 \mu\text{L}$ da solução estoque do extrato (1000 mg/mL), sendo realizadas diluições seriadas em razão 1:2 até a 11ª coluna.

As suspensões microbianas, previamente padronizadas à turbidez equivalente ao padrão 0,5 da escala de McFarland ($\sim 1,5 \times 10^8 \text{ UFC/mL}$ para bactérias e $\sim 1,5 \times 10^6 \text{ UFC/mL}$ para fungos), foram preparadas e $5 \mu\text{L}$ dos inóculos foram depositados em cada poço.

A coluna 1 foi utilizada como controle de crescimento (caldo e microrganismo), enquanto a coluna 12 foi empregada como controle de esterilidade (caldo e extrato).

As microplacas foram incubadas a 36°C por 24 horas para bactérias e a 27°C por 48 horas para leveduras. Para a avaliação do crescimento bacteriano, foram adicionados $20 \mu\text{L}$ de solução de TTC a 2% (2,3,5-trifeniltetrazólio), seguidos de incubação por 2 horas. A redução do TTC pelas desidrogenases bacterianas resultou na

formação de coloração vermelha, indicando atividade metabólica e crescimento microbiano, enquanto a ausência de coloração indicou inibição.

Para a levedura (*Candida albicans*), a avaliação foi realizada por análise visual da turbidez nos poços, uma vez que esse microrganismo não apresenta redução significativa do TTC nas condições experimentais adotadas. Assim, a presença de turbidez foi considerada indicativa de multiplicação fúngica, enquanto sua ausência indicou inibição.

Análise estatística

Os ensaios de obtenção dos extratos e as determinações biológicas foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com todas as análises realizadas em triplicata e os resultados expressos como média $\pm$ desvio padrão. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatada significância estatística ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas e agrupadas pelo teste de Scott-Knott, utilizando o software Statistica 13.0 (Statsoft®, EUA).

RESULTADOS

Rendimento dos extratos

Os rendimentos dos extratos variaram entre os métodos de extração avaliados. Os maiores valores foram observados para os extratos obtidos com etanol, tanto por turbo-extração quanto por maceração, sem diferença significativa entre si. Os métodos de infusão apresentaram rendimentos intermediários, enquanto a turbo-extração aquosa resultou no menor rendimento entre os tratamentos analisados (Tabela 1).

Tabela 1 – Rendimento (%) dos extratos obtidos por diferentes métodos de extração

Método	Rendimento (%)
Infusão	50,07 ± 3,89b
Infusão + precipitado	36,84 ± 1,63b
Maceração etanol	55,70 ± 2,74a
Turbo-extração H ₂ O	17,77 ± 1,30c
Turbo-extração etanol	57,41 ± 1,21a

Os dados foram expressos como média ± desvio padrão (n = 3) e submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando constatada significância estatística ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, adotando-se nível de significância de 5%, utilizando o software Statistica 13.0 (Statsoft®, EUA). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, enquanto médias com letras diferentes indicam diferença estatística entre os tratamentos.

Atividade Antioxidante

A avaliação da atividade antioxidante dos extratos de *E. uniflora* revelou comportamentos distintos entre os métodos de extração e os ensaios aplicados (Tabela 2). No ensaio FRAP, o extrato obtido por turbo-extração em etanol registrou o maior potencial redutor entre as amostras processadas, os métodos de maceração e INF (Infusão) apresentaram valores significativamente semelhantes. Os menores valores de redução de ferro foram observados para os métodos I + P e turbo-extração em água.

No ensaio ABTS, a maceração etanólica apresentou a maior atividade antioxidante, diferindo significativamente dos demais extratos. Os tratamentos Infusão, Turrax H₂O e Turrax etanol apresentaram atividade intermediária, enquanto Infusão + precipitado demonstrou o menor potencial antioxidante.

No ensaio DPPH, observou-se atividade expressiva apenas para o extrato obtido por turbo-extração em etanol, enquanto os demais tratamentos apresentaram baixa ou não significativa atividade antioxidante.

Tabela 2 – Atividade antioxidante dos extratos de *Eugenia uniflora* obtidos por diferentes métodos de extração, avaliada pelos ensaios FRAP, ABTS e DPPH.

Extrato	FRAP ($\mu\text{mol Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$)	ABTS ($\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$)	DPPH ($\mu\text{mol Trolox g}^{-1} / \text{g}$)
Infusão (INF)	83,57 $\pm$ 0,00b	125,22 $\pm$ 8,02b	3,96 $\pm$ 5,00b
Infusão + precipitado (I+P)	67,82 $\pm$ 8,21c	104,42 $\pm$ 0,00c	0,00c
Maceração etanol	84,40 $\pm$ 1,17b	170,59 $\pm$ 8,02a	0,00c
Turbo-extração H ₂ O	62,02 $\pm$ 2,34c	123,33 $\pm$ 10,69b	0,00c
Turbo-extração etanol	96,83 $\pm$ 0,00a	119,55 $\pm$ 16,04b	54,16 $\pm$ 10,58a

Nota: Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatisticamente significativa pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Os valores são expressos como média $\pm$ desvio padrão ($n = 3$). FRAP: capacidade de redução férrica, expressa em $\mu\text{mol Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$; ABTS: capacidade de sequestro do radical ABTS $\cdot^+$, expressa em $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$; DPPH: capacidade de sequestro do radical DPPH $\cdot$, expressa em $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$. As quantificações foram realizadas por curvas padrão de sulfato ferroso (FRAP) e Trolox (ABTS e DPPH), com ajuste linear ($R^2 > 0,99$). O controle positivo (quercetina) apresentou atividade antioxidante de $3378,85 \pm 2,79 \mu\text{mol Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$ (FRAP), $3044,98 \pm 0,01 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ (ABTS) e $1085,82 \pm 6,00 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ (DPPH). O controle positivo não foi incluído na análise estatística comparativa.

Atividade Antimicrobiana

Concentração Inibitória Mínima (CIM)

Conforme apresentado na Tabela 3, os resultados da CIM indicaram maior atividade antimicrobiana para os extratos obtidos com etanol 70%, com destaque para a

turboextração, que apresentou efeito inibitório mais evidente frente a *E. coli*, *S. epidermidis* e *S. enterica* subsp. *enterica*.

De modo geral, observou-se menor atividade frente a *P. aeruginosa* e ausência de inibição para *C. albicans* nas concentrações avaliadas. Os extratos obtidos por infusão apresentaram atividade limitada ou ausência de efeito para a maioria dos microrganismos testados.

Tabela 3 – CIM (mg/mL) dos extratos de *Eugenia uniflora* frente a microrganismos patogênicos.

Extrato	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Candida albicans</i>	<i>Salmonella enterica subsp. enterica</i>
Infusão	125 ± 0,00	>500	62,50 ± 0,00	250 ± 0,00	>500	>500
Infusão + precipitado	250,00 ± 0,00	250,00 ± 0,00	194,44 ± 59,43	250,00 ± 0,00	>500	62,50 ± 0,00
Maceração etanol	250,00 ± 0,00	62,50 ± 0,00	31,25 ± 0,00	250,00 ± 0,00	>500	62,50 ± 0,00
Turbo-extração H ₂ O	>500	>500	>500	>500	>500	>500
Turbo-extração etanol	125,00 ± 0,00	15,63 ± 0,00	6,51 ± 1,95	104,17 ± 30,41	>500	31,25 ± 0,00

Nota: CIM = Concentração Inibitória Mínima, definida como a menor concentração capaz de inibir o crescimento microbiano visível. Os resultados são

apresentados como média ± desvio padrão. O símbolo >500 indica ausência de inibição até a maior concentração avaliada.

DISCUSSÃO

Rendimento dos extratos

Os rendimentos dos extratos evidenciam a forte influência tanto do solvente quanto da técnica de extração na eficiência de recuperação de compostos dos frutos de *E. uniflora*. Os maiores rendimentos observados para o método Turbo-extração em etanol 70% e maceração etanol sugerem que o etanol apresenta uma capacidade superior de solubilização dos constituintes presentes na matriz vegetal. Este solvente, de polaridade intermediária, favorece a extração de compostos como fenólicos e flavonoides, que são abundantes na pitanga (Magalhães *et al.*, 2025).

O desempenho superior da homogeneização de alta dispersão por turbo-extração em etanol 70% pode ser atribuído à sinergia entre a eficiência mecânica e a afinidade química do solvente. Conforme descrito por Vázquez-Vázquez *et al.* (2024), o Ultra-Turrax promove uma intensa ruptura das paredes celulares e membranas biológicas através de forças de cisalhamento.

A ruptura celular promovida pelo cisalhamento aumenta a interação solvente–matriz, favorecendo a difusão de compostos intracelulares (Chemat *et al.*, 2017), sendo que a redução do tamanho das partículas e a alteração das características físicas da polpa por homogeneização de alto cisalhamento são fatores determinantes para a maximização do rendimento de extração (Kamble *et al.*, 2022).

Por outro lado, o baixo rendimento obtido com o Turbo-extração em meio aquoso indica que a eficiência mecânica, isoladamente, não garante o sucesso da extração. A polaridade da água limita a recuperação de compostos menos polares, reduzindo a massa total de sólidos extraídos. Este comportamento pode ser explicado pelos Parâmetros de Solubilidade de Hansen (HSP) o que é consistente com os maiores rendimentos observados nos extratos etanólicos. Segundo Montenegro *et al.* (2026), a seletividade da extração é ditada pela afinidade termodinâmica, no caso da *E. uniflora*, compostos como a quercetina e outros

flavonoides já identificados por Borsoi *et al.* (2023) possuem um raio de solubilidade que se sobrepõe mais adequadamente ao etanol do que à água pura, sugerindo que o solvente exerce influência predominante sobre a eficiência da extração.

Quanto às infusões, os valores intermediários sugerem que, embora a água quente facilite a extração de compostos altamente polares, ela resulta em um rendimento global inferior por capturar uma fração mais restrita de metabólitos.

Em suma, os resultados indicam que não existe um método universalmente superior, mas sim abordagens otimizadas pela interação técnica-solvente. A associação de solventes orgânicos (etanol) com técnicas de alta dispersão mecânica (Turbo-extração) favorece rendimentos elevados e maior recuperação de compostos, enquanto métodos aquosos, embora mais seletivos, apresentam eficiência reduzida na exaustão da matriz de *E. uniflora*.

Atividade Antioxidante

Os resultados demonstram que a atividade antioxidante dos extratos de *Eugenia uniflora* varia significativamente conforme o método de extração e o solvente empregado, evidenciando a influência direta das condições extrativas sobre o perfil químico e a atividade biológica dos extratos. Os compostos fenólicos presentes nos frutos maduros da espécie, especialmente antocianinas e flavonoides, apresentam natureza predominantemente polar, favorecendo sua solubilização em solventes hidroalcoólicos. Estudos realizados com a espécie demonstram que solventes alcoólicos apresentam maior eficiência na recuperação desses metabólitos bioativos, evidenciando a afinidade dos compostos fenólicos por meios de maior polaridade (Sousa, 2025; Martínez-Correa *et al.*, 2011). Além disso, o método de extração exerce influência direta sobre a recuperação diferencial desses compostos, modulando o perfil químico final dos extratos e, consequentemente, suas respostas biológicas (Ghenabzia *et al.*, 2023).

No ensaio FRAP, o extrato obtido por turboextração em etanol apresentou o melhor desempenho entre as amostras avaliadas, sugerindo maior eficiência na extração de compostos com capacidade redutora. Esse resultado pode estar relacionado ao efeito do cisalhamento mecânico promovido pelo equipamento, o qual favorece a ruptura das estruturas celulares e facilita a liberação dos metabólitos bioativos para o meio. De acordo com Alara, Abdurahman e Ukaegbu (2021), métodos extrativos capazes de promover maior desorganização da matriz vegetal tendem a aumentar a recuperação de

compostos fenólicos e potencializar a atividade antioxidante dos extratos. Além disso, a presença de flavonoides e ácidos fenólicos em *Eugenia uniflora*, previamente descrita por Almeida *et al.* (2023), corrobora a elevada atividade antioxidante observada principalmente nos extratos obtidos com solventes orgânicos e técnicas de alta dispersão, como a turboextração.

No ensaio ABTS, observou-se que a maceração apresentou a maior atividade antioxidante, seguida pelos extratos obtidos por infusão e turboextração em água e etanol, que exibiram valores intermediários. A maior resposta ao radical ABTS em comparação ao DPPH pode ser atribuída à capacidade desse método em reagir com compostos de diferentes polaridades, incluindo substâncias hidrofílicas e lipofílicas, conforme descrito por Cano *et al.* (2023). Dessa forma, a maior eficiência da maceração e da infusão sugere que os frutos de *E. uniflora* apresentam composição diversificada de antioxidantes, cuja extração é favorecida por fatores como maior tempo de contato entre solvente e matriz vegetal, além das condições específicas do processo extrativo.

Em relação ao ensaio DPPH, observou-se maior seletividade dos métodos de extração, com destaque para o extrato obtido por turboextração em etanol, que apresentou atividade antioxidante mensurável dentro dos limites do ensaio. Os baixos ou inexpressivos valores observados nos demais extratos, especialmente nos aquosos, sugerem menor interação de determinados compostos fenólicos com o radical DPPH, uma vez que esse método apresenta maior sensibilidade a compostos com características específicas de transferência de hidrogênio e menor abrangência em relação a antioxidantes hidrofílicos (Cano *et al.*, 2023). Além disso, as respostas nulas podem estar associadas a interferências na leitura espectrofotométrica, possivelmente decorrentes da presença de pigmentos naturais do fruto, os quais absorvem na mesma faixa de comprimento de onda utilizada no ensaio. Esse comportamento já foi descrito em matrizes vegetais ricas em antocianinas e carotenoides, nas quais esses compostos podem interferir na determinação espectrofotométrica da atividade antioxidante (Magalhães *et al.*, 2025).

De maneira geral, os resultados indicam que a atividade biológica observada não depende exclusivamente da espécie vegetal, mas também das condições tecnológicas empregadas durante o processo extrativo, como solvente, tempo e método de extração, os quais influenciam a composição química dos extratos e a recuperação diferencial de

metabólitos bioativos (Alara; Abdurahman; Ukaegbu, 2021). Nesse contexto, a integração entre aspectos químicos, tecnológicos e biológicos contribui para a compreensão da variação das respostas observadas, destacando a importância da otimização e padronização dos métodos de extração para obtenção de extratos com maior reprodutibilidade e potencial biológico.

Atividade Antimicrobiana

Concentração Inibitória Mínima (CIM)

Os resultados de Concentração Inibitória Mínima (CIM) revelam que a capacidade dos frutos de *E. uniflora* em combater microrganismos é fortemente influenciada pelo método de preparo. Observa-se que a extração assistida por turbo-extração utilizando o meio etanólico foi a única capaz de concentrar os compostos ativos de forma eficiente, especialmente contra *E. coli* e *S. epidermidis*. Em contraste, o uso da turbo-extração com solvente puramente aquoso resultou na ausência total de inibição para todos os patógenos testados, o que reforça que os compostos responsáveis pela defesa antimicrobiana da pitanga possuem maior afinidade química com o álcool.

A seletividade observada nos extratos, com maior eficácia frente às bactérias em comparação ao fungo *Candida albicans*, representa uma característica relevante do perfil antimicrobiano avaliado. Enquanto os microrganismos bacterianos demonstraram maior sensibilidade aos extratos, a parede celular fúngica, composta principalmente por quitina e glucanos, pode atuar como uma barreira estrutural mais resistente à ação dos compostos bioativos, conforme descrito por Badmus (2025). Este fenômeno já foi relatado para outros extratos de frutos pertencentes à família Myrtaceae como *Plinia cauliflora* (Pinc *et al.*, 2023) e *Syzygium cumini* (Cebrián *et al.*, 2024), que também demonstraram atividade antibacteriana e ausência de efeito antifúngico. Além disso, a maior susceptibilidade bacteriana, especialmente de microrganismos associados a desequilíbrios cutâneos, como *Staphylococcus epidermidis*, também foi relatada para espécies da família Myrtaceae por Arcani e Ribeiro (2025).

Ao comparar o efeito antimicrobiano do extrato hidroalcoólico preparado a partir dos frutos com o extrato das folhas (Dalmagro *et al.*, 2023) da pitanga, é possível

observar um desempenho antimicrobiano semelhante frente microrganismo comumente encontrado no tecido epitelial. Isso sugere que a planta conserva um padrão característico de defesa, provavelmente associado à presença de taninos e terpenos (Mendes *et al.*, 2025), tanto em suas partes verdes quanto em seus frutos.

Embora o uso de extratos brutos tenha limitações, como a dificuldade de identificar qual molécula age isoladamente, o sucesso da extração etanólica via turbo-extração neste estudo abre caminhos promissores. O fruto da pitanga se confirma não apenas como um alimento, mas como uma fonte rica de insumos naturais para o desenvolvimento de novas terapias tópicas e curativos inteligentes.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o etanol exerce papel central na atividade dos extratos dos frutos da *E. uniflora*, com destaque para a turboextração, que apresentou desempenho mais consistente entre os ensaios antioxidantes e antimicrobianos. Essa abordagem se mostra promissora para a obtenção de extratos com potencial bioativo, embora a escolha do método possa variar conforme a aplicação pretendida.

REFERÊNCIAS

ALARA, O. R.; ABDURAHMAN, N. H.; UKAEGBU, C. I. Extraction of phenolic compounds: a review. **Current Research in Food Science**, v. 4, p. 200–214, 2021.

ALMEIDA, L. F. de *et al.* Phytochemical profile, in vitro activities, and toxicity of optimized *Eugenia uniflora* extracts. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 22, n. 2, p. 144-159, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Farmacopeia brasileira*. 6. ed. Brasília: ANVISA, 2019. Parte II: Métodos gerais: preparações derivadas de drogas vegetais.

ANTONIO, A. S. *et al.* Efficacy and sustainability of natural products in COVID-19 treatment development: opportunities and challenges in using agro-industrial waste from Citrus and apple. **Heliyon**, v. 7, n. 8, 2021.

ARAÚJO, N. M. P. *et al.* Plants from the genus *Eugenia* as promising therapeutic agents for the management of diabetes mellitus: A review. **Food Research International**, v. 142, p. 110182, 2021.

ARCANI, B. C. M.; RIBEIRO, D. H. B. Evaluation of the antimicrobial potential of seeds extracts from fruits of the Myrtaceae family. *In: Investigação Científica nas Ciências Agrárias*. [S.l.]: Editora Poisson, 2025. p. 35-43. (Capítulo 5). DOI: 10.37885/250519354.

BADMUS, A. A. Antimicrobial and phytochemical activities on selected bacterial strains by essential oil from *Eugenia uniflora* Linn (Myrtaceae) leaves collected from Ile-Ife, Osun State, Nigeria. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 29, n. 4, p. 1287-1293, 2025.

BAGETTI, M. *et al.* Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). **Food Science and Technology**, v. 31, p. 147-154, 2011.

BORSOI, F. T. *et al.* *Eugenia uniflora* L. seed and pulp extracts: phytochemical profile, cytotoxic potential, antitumoral activity, and α -amylase and α -glucosidase inhibition capacity. **Natural Product Research**, v. 37, n. 22, p. 3862-3867, 2023.

CANO, A. *et al.* ABTS/TAC methodology: main milestones and recent applications. Processes, **Basel**, v. 11, n. 1, p. 185, 2023.

CEBRIAN, R. *et al.* Development and Characterization of Film-Forming Solution Loaded with *Syzygium cumini* (L.) Skeels for Topical Application in Post-Surgical Therapies. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 10, p. 1294, 2024.

CHEMAT, F. *et al.* Green extraction of natural products: concept and principles. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 18, n. 4, p. 708, 2017.

CLSI. **Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically**; Approved Standard—Ninth Edition. CLSI document M07-A9. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute, 2012.

DALMAGRO, M. *et al.* Exploring antioxidant and α -glucosidase inhibition in *Eugenia L.* extracts: a comprehensive phytochemical study. **Natural Product Research**, p. 1-7, 2024.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Espécies arbóreas brasileiras*. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/publicacoes/especies-arboreas-brasileiras>. Acesso em: 4 abr. 2025.

FIDELIS, E. M. *et al.* Pitanga (*Eugenia uniflora* L.) as a source of bioactive compounds for health benefits: a review. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 4, p. 103691, 2022.

GHENABZIA, I. *et al.* Different methods of extraction of bioactive compounds and their effect on biological activity: a review. **International Journal of Secondary Metabolite**, v. 10, n. 4, p. 469–494, 2023.

GONÇALVES, J. *et al.* A comparative study of the biological properties of *Eugenia uniflora* L. fruits and leaves related to the prevention of cardiovascular diseases. **Life**, v. 15, n. 2, p. 147, 2025.

GUERBOUB, L. *et al.* Ultra-Turrax Homogenization–Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Olive Pomace Using Response Surface Methodology. **Food Analytical Methods**, v. 18, n. 10, p. 2198-2207, 2025.

JACOBUCCI, N. A. O. *et al.* Extractive optimization of bioactive compounds in aerial parts of *cuphea carthagenensis* using Box-Behnken experimental design. **Natural Product Research**, v. 40, n. 1, p. 283-288, 2026.

KAMBLE, M. G. *et al.* Effect of high shear homogenization on quality characteristics of bael fruit pulp. **Food Quality and Safety**, v. 6, p. 1-12, 2022.

MAGALHÃES, C. G. *et al.* Phenolic compounds and biological potential of *Eugenia uniflora* L.: A short review. **Eclética Química**, v. 50, e-1589, 2025.

MARTÍNEZ-CORREA, H. A. *et al.* Extracts from pitanga (*Eugenia uniflora* L.) leaves: influence of extraction process on antioxidant properties and yield of phenolic compounds. **The Journal of Supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 55, n. 3, p. 998–1006, 2011.

MENDES, J. P. *et al.* Screening of Plant Extracts from the Brazilian Atlantic Forest Reveals a Fraction Rich in Sesquiterpenes from *Eugenia astringens* as a Potential Antibacterial. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 2025.

MICHALAK, Monika. Plant-derived antioxidants: Significance in skin health and the ageing process. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 2, p. 585, 2022.

MONTENEGRO, I. *et al.* Selective separation of quercetin and p-Coumaric acid based on new Hansen solubility parameters. **Separation and Purification Technology**, v. 380, 135428, 2026.

NAJMI, A. *et al.* Modern approaches in the discovery and development of plant-based natural products and their analogues as potential therapeutic agents. **Molecules**, v. 27, n. 2, p. 349, 2022.

PEREIRA, D. M. *et al.* Characterization of the nutritional composition and pigment content of red and purple pitanga (*Eugenia uniflora* L.) varieties. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 58026-58038, 2020.

PINC, M. M. *et al.* Extraction methods, chemical characterization, and in vitro biological activities of *Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel peels. **Pharmaceuticals**, v. 16, n. 8, p. 1173, 2023.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

SANTOS, J. S. *et al.* Optimization of the extraction of antioxidant compounds from *Eugenia uniflora* L. (pitanga) leaves and characterization by HPLC-PDA-MS/MS. **Food Chemistry**, v. 191, p. 30-36, 2016.

SILVA-RODRIGUES, Gislaine. Overview of natural products and their applications: a review. **CPAQV Journal-Center for Advanced Research in Quality of Life**, v. 16, n. 1, 2024.

SILVEIRA, T. F. F. *et al.* Development of a spectrophotometric method for determination of DPPH radical scavenging activity in edible oils. **Food Chemistry**, v. 245, p. 110-117, 2018.

SOUSA, M. S. Desenvolvimento de método de extração de compostos fenólicos em frutos de *Eugenia uniflora*. 2025. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025. Disponível em: **Repositório UFU**. Acesso em: 26 março 2026.

TOMINC, G. C. *et al.* Extractive method optimization for *Arctium lappa* L. roots. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, Umuarama, v. 26, n. 3, p. 1019–1032, 2022.

VÁZQUEZ-VÁZQUEZ, J. *et al.* Enhanced extraction of antioxidant phenolics: Quercetin, Kaempferol, Gallic Acid, Syringic Acid, and Epicatechin from fresh berries and their waste using Ultra-Turrax and Ultrasonication. **Applied Food Research**, v. 4, 100539, 2024.