



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

ELGIA PROCÓPIO DINIZ

**Avaliação do perfil eletroquímico e fitoquímico de extrato
de pitangas**

Goiânia

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE FARMÁCIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

ELGIA PROCÓPIO DINIZ

3. Título do trabalho

Avaliação do perfil eletroquímico e fitoquímico de extrato de pitangas

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Eric De Souza Gil, Professor do Magistério Superior**, em 11/08/2025, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elgia Procópio Diniz, Usuário Externo**, em 11/08/2025, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5561961** e o código CRC **11C1BF8A**.

Referência: Processo nº 23070.029115/2025-14

SEI nº 5561961



ELGIA PROCÓPIO DINIZ

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE FARMÁCIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

**Avaliação do perfil eletroquímico e fitoquímico de extrato
de pitangas**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, área de concentração em Fármacos e Medicamentos da Universidade Federal de Goiás para obtenção do Título de Mestre em Ciências Farmacêuticas com área de concentração em Fármacos e Medicamentos.
Linha de Pesquisa: Fármacos e Medicamentos.

Orientador: Prof. Dr. Eric de Souza Gil

Goiânia

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE FARMÁCIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata Nº **251** da sessão de Defesa de Dissertação de **ELGIA PROCÓPIO DINIZ** que confere o título de Mestra em **Ciências Farmacêuticas**, na área de concentração em **Fármacos e Medicamentos**.

Aos **vinte e nove dias do mês de julho de dois mil e vinte e cinco**, através de **videoconferência**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“Avaliação do perfil eletroquímico e fitoquímico de extrato de pitangas”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Professor Doutor Eric de Souza Gil (FF/UFG) - cuja participação ocorreu através de videoconferência**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Professor Doutor Fábio Bahls Machado (FacUnicamps) - cuja participação ocorreu através de videoconferência**, membro titular externo; **Professor Doutor José Realino de Paula (FF/UFG) - cuja participação ocorreu através de videoconferência**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo **Professor Doutor Eric de Souza Gil (FF/ UFG) - cuja participação ocorreu através de videoconferência**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **vinte e nove dias do mês de julho de dois mil e vinte e cinco**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Eric De Souza Gil**, **Professor do Magistério Superior**, em 29/07/2025, às 15:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Realino De Paula**, **Professor do Magistério Superior**, em 29/07/2025, às 15:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Bahls Machado**, **Usuário Externo**, em 01/08/2025, às 13:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_org_ao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5414885** e o código CRC **A7B7DC59**.

Referência: Processo nº 23070.029115/2025-14

SEI nº 5414885



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas

Profa. Dra. Stephânia Fleury Taveira

Email: stephaniafleury@ufg.br

Telefone: (062) 3209-6519

Vice-Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas

Prof. Dra. Carolina Horta Andrade

Email: carolina@ufg.br

Telefone: (062) 3209-6449

Goiânia

2025

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas
da Universidade Federal de Goiás**

BANCA EXAMINADORA

Aluna: Elgia Procópio Diniz

Orientador: Prof. Dr. Eric de Souza Gil

Dr. Eric de Souza Gil / Presidente

Professor Titular da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás, FF/UFG.

Dr. Fabio Bahls Machado / Titular

Professor da FacUnicamps

Dr. José Realino de Paula / Titular

Professor Titular da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás FF/UFG.

Dr. Isaac Yves Lopes de Macêdo / Suplente

Professor da Faculdade CGESP

Dr. Matheus Lavorenti Rocha / Suplente

Professor Titular da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás FF/UFG.

Data: 29 de julho de 2025.

Aos meus pais...

Àqueles que me deram a vida.

E me oportunizaram ser quem sou.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder suas bênçãos diariamente, agraciando minha vida e dando-me sabedoria para lidar com as intempéries cotidianas. Ao qual ilumina meus caminhos e me cuida sempre.

Aos meus amados pais, Lecila Procópio Diniz e Manoel Raimundo I. R. Diniz à quem devo a vida; aos meus irmãos Evandro, Adervânio (*in memoriam*), Elizandra, Adria, Andrea, Lígia e demais familiares, pelo incentivo constante e pela compreensão relativa em minhas ausências.

Aos meus filhos Nayara Diniz de Queiroz, João Victor Diniz de Queiroz e Pedro Manoel Diniz de Queiroz, símbolos de amor incondicional e de esperanças futuras.

Às amigas Elienes, Mirian Cristiane, Andreia, Cleusa e demais colegas de trabalho e do laboratório LAFAM, exemplos de luta, competência e dignidade.

À querida Érica Aparecida Batista, sinônimo de competência, colaboração, gentileza e humanidade.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Eric de Souza Gil, com quem tenho aprendido incessantemente sobre o mundo acadêmico e ganhado novos conhecimentos científicos, exemplo de respeito e digno de admiração.

À servidora Fernanda Bellato, pela disposição, profissionalismo e eficiência em suas atividades prestadas junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas.

Aos docentes do curso que contribuíram muito com o meu desenvolvimento intelectual.

Aos professores Dr. José Realino de Paula, Dr. Isaac Yves Lopes de Macêdo, Dr. Nerilson Marques Lima, Dr. Fabio Bahls Machado e Dr. Matheus Lavorenti Rocha, Dr. Higor de Moraes Mundim que gentilmente aceitaram realizar a leitura e os apontamentos para o melhor desenvolvimento desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, pelas correções e sugestões.

Aos meus colegas de trabalho que me incentivaram a trilhar os caminhos do conhecimento e seguem lutando por uma educação de qualidade.

*Há duas maneiras de viver a vida.
Uma é como se nada fosse um milagre.
A outra é como se tudo fosse um milagre.
(Albert Einstein)*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação dos antioxidantes: enzimáticos e não enzimáticos	22
Figura 2. Ocorrência das <i>Eugenias uniflora L.</i> em 6.084 coordenadas georreferenciadas..	25
Figura 3. Pitanga vermelha e roxa em seus diferentes estádios de maturação	26
Figura 4. Ocorrência das <i>Eugenias selloi</i> em 440 coordenadas georreferenciadas.....	27
Figura 5. fruto maduro da espécie <i>Eugenia selloi</i> – Pitangatuba	27
Figura 6. Principais constituintes químicos e classes de metabólitos secundários presentes nas espécies de <i>Eugenia</i>	29
Figura 7: Esquematização da preparação do biossensor enzimático de <i>C. Superba</i>	45
Figura 8 - Estudo da influência do pH no comportamento eletroquímico dos voltamogramas obtidos para um pool das amostras de cada variedade de pitanga e pitangatuba.....	50
Figura 9. Voltamogramas obtidos por DPV para <i>Eugenia uniflora</i> Roxa (—), <i>Eugenia uniflora</i> Vermelha, <i>Eugenia selloi</i> em Tampão Fostato.....	51
Figura 10. Voltamogramas obtidos por SWV para <i>Eugenia uniflora</i> Roxa (A), <i>Eugenia uniflora</i> Vermelha (B), <i>Eugenia selloi</i> (C) em Tampão Fostato	52
Figura 11. Voltamogramas obtidos por DPV para <i>Eugenia uniflora</i> roxa, <i>Eugenia uniflora</i> vermelha, <i>Eugenia selloi</i> em tampão fostato, com o biossensor enzimático.....	53
Figura 12. Diagrama de Venn das espécies de <i>Eugenia uniflora</i> roxa e vermelha e <i>Eugenia selloi</i>	55
Figura 13. Gráficos de Beeswarm plot (a) e Ridgeline chart (b) das espécies de <i>Eugenia uniflora</i> roxa, vermelha e <i>E. selloi</i>	56
Figura 14. Gráficos de calor exibindo a abundância relativa dos metabólitos encontrados a partir dos dados espectrais obtidos por ESI (+) Orbitrap MS das espécies de <i>Eugenia</i> roxa, vermelha e <i>selloi</i>	57
Figura 15. Atividade vasorrelaxante de amostras de (A) <i>Eugenia uniflora</i> vermelha. e (B) <i>Eugenia uniflora</i> roxa em aortas de ratos.....	60
Figura 16. Contração vascular induzida por KCl em aortas de ratos com endotélio intacto	62

LISTA DE TABELAS E GRÁFICO

Tabela 1. Fenóis totais em amostras de pitangas usando eletrodo modificado com pasta de carbono, onde têm-se as eugênicas: *E. uniflora* Roxa (*EUR*), *E. uniflora* Vermelha (*EUV*) e *E. Selloi* (*ES*) 54

Tabela 2. Metabólitos presentes em amostras de pitangas (*Eugenia uniflora* e *selloi*) com propriedade antioxidante 59

Gráfico 1 – Resultados obtidos de diferentes soluções extratoras dos frutos da *Eugenia uniflora* roxa (—), *Eugenia uniflora* vermelha (—) e *Eugenia selloi* (—): *in natura*, água, etanol/água e metanol/água para determinar o melhor sistema extrator para as próximas análises. 48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$\bullet\text{O}_2^-$	ânion superóxido
$\bullet\text{OH}$	Radical hidroxil
AA	Absorbância
ABTS	2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
$[\text{Ca}^{2+}]$	Concentração de cálcio
CV	Voltametria cíclica
DNA	Ácido desoxirribonucleic
DPV	Voltametria de pulso diferencial
eNOS	Óxido nítrico sintase endotelial
E_{pa}	Potencial anódico
E_{pc}	Potencial catódico
EROs	Espécies reativas de oxigênio
ERNS	Espécies reativas de nitrogênio
EM	Espectrometria de massa
FC	<i>Folin-Ciocalteu</i>
FT	Fenóis totais
H_2O_2	Peróxido de hidrogênio
HOCl	Ácido hipocloroso
IE	Índice Eletroquímico
NO'	Óxido nítrico
ONOO^-	Ânion peroxinitrito
$\text{ROO}\bullet$	Radical peroxil
SWV	Voltametria de onda quadrada
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
HAS	Hipertensão Arterial Sistêmica
EDHF	Fator Hiperpolarizante Derivado do Endotélio
PPO	Polifenoloxidase
PAS	Pressão Arterial Sistólica
PAD	Pressão Arterial Diastólica

A pitanga (*Eugenia uniflora*) e a pitangatuba (*Eugenia selloi*) são espécies vegetais pertencentes à família Myrtaceae, nativas do Brasil e consideradas superfrutas devido seu elevado valor nutricional. A pitanga está disponível em colorações variadas, incluindo vermelha (popularmente mais conhecida), roxa e amarela (menos difundida). A pitangatuba possui coloração amarela brilhante e sabor agridoce intenso. Além da diferença de pigmentação, a riqueza química em constituintes bioativos de interesse farmacológico e nutricional de cada fruto ainda é um ramo subexplorado. Ambas as espécies possuem propriedades terapêuticas marcantes provenientes, principalmente, da sua capacidade de inibição de radicais livres. Assim, devido à importância de determinar a capacidade antioxidante em relação ao efeito terapêutico destas frutas, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial antioxidante das variedades de pitangas e da pitangatuba por métodos eletroquímicos, bem como verificar a atividade vasorrelaxante e correlacionar estes resultados com a composição fenólica determinada por espectrometria de massas. Para os experimentos eletroquímicos, os métodos eletroanalíticos utilizados foram a voltametria de pulso diferencial e a voltametria de onda quadrada. Adicionalmente, foi aplicado aos extratos selecionados, um biossensor em eletrodo de pasta de carbono utilizando a enzima polifenoloxidase, obtida dos galhos da planta *Cordia superba*. A atividade vasorrelaxante das variedades de *Eugenia uniflora* (vermelha e roxa) foi avaliada em anéis da artéria aorta de ratos machos da linhagem *Wistar*, utilizando artérias com endotélio vascular intacto. A via da síntese de óxido nítrico endotelial (eNOS) e o inibidor N-nitro-L-arginina- metil-éster (L-NAME) foram utilizadas nesta análise. Nos ensaios eletroquímicos, observou-se um perfil semelhante, com pico anódico *c.a.* $E_{pa1} = 0,26$ V para as pitangas vermelha e roxa e 0,18 a 0,26 V para a pitangatuba, os quais são indicativos de compostos polifenólicos com elevado potencial antioxidante. Os extratos aplicados no biossensor demonstraram melhora significativa no sinal eletroanalítico da *Eugenia uniflora* vermelha, roxa e da *Eugenia selloi* quando comparado ao eletrodo sem modificação. A composição fenólica dos frutos das *Eugenias* determinada por espectrometria de massas revelou a predominância de cianidina 3-O-glicosídeo na pitanga roxa, miricetina 3-O-hexosídeo, apigenina e delphinidina 3-O-glicosídeo na pitanga vermelha e ácido gálico na pitangatuba. Ensaios farmacológicos mostraram que a *Eugenia uniflora* apresentou indução da produção de óxido nítrico pelas células endoteliais e a redução da lesão oxidativa causada pelo KCl. Por outro lado, a pitanga roxa apresentou melhor capacidade antioxidante, corroborando os resultados obtidos em outros estudos, destacando sua importância como alimento funcional.

Palavras-chaves: antioxidante, voltametria, biossensor, vasorrelaxante, *Eugenia*.

ABSTRACT

Pitanga (*Eugenia uniflora*) and pitangatuba (*Eugenia selloi*) belong to the Myrtaceae family, are native to Brazil and are considered superfruits due to their high nutritional value. The pitanga is available in a variety of colours, from red (the most popular) to black (purple) and yellow (less common). The pitangatuba has a bright yellow colour and an intense bittersweet flavour. Apart from the difference in pigmentation, the chemical richness in bioactive constituents of medicinal interest of each fruit is still an under-explored area. Both species have remarkable therapeutic properties, mainly due to their ability to inhibit free radicals. Therefore, due to the importance of determining the antioxidant capacity in relation to the therapeutic effect of these fruits, this study aimed to evaluate the antioxidant potential of the pitanga and pitangatuba varieties by electrochemical methods, as well as to verify the vasorelaxant activity and correlate these results with the phenolic composition determined by mass spectrometry. For the electrochemical experiments, the electroanalytical methods used were differential pulse voltammetry and square wave voltammetry. Additionally, a biosensor in carbon paste electrode using the enzyme polyphenoloxidase, obtained from the branches of the *Cordia superba* plant, was applied to the selected extracts. The vasorelaxant activity of the *Eugenia uniflora* varieties (red and purple) was evaluated in aortic artery rings of male Wistar rats, using arteries with intact vascular endothelium. The endothelial nitric oxide synthase (eNOS) pathway and the inhibitor N-nitro-L-arginine-methyl-ester (L-NAME) were used in this analysis. In the electrochemical tests, a similar profile was observed, with anodic peak c.a. $E_{pa1} = 0.26$ V for red and purple pitangas and 0.18 a 0,26 V for pitangatuba, which are indicative of polyphenolic compounds with high antioxidant potential. The extracts applied to the biosensor demonstrated significant improvement in the electroanalytical signal of red and purple *Eugenia uniflora* and *Eugenia selloi* when compared to the electrode without modification. The phenolic composition of *Eugenia fruits* determined by mass spectrometry revealed the predominance of cyanidin 3-O-glucoside in purple pitanga, myricetin 3-O-hexoside, apigenin and delphinidin 3-O-glucoside in red pitanga and gallic acid in pitangatuba. Pharmacological tests showed that *Eugenia uniflora* presented induction of nitric oxide production by endothelial cells and reduction of oxidative damage caused by KCl. On the other hand, purple pitanga presented better antioxidant capacity, corroborating the results obtained in other studies, highlighting its importance as a functional food.

Keywords: antioxidant, voltammetry, biosensor, vasorelaxant, *eugenics*.

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Estresse Oxidativo na Patogênese de Doenças	20
2.2 Fontes Naturais de Antioxidantes	21
2.3 Superfrutas	23
2.3.1 <i>Eugenia uniflora</i> – Pitangas	24
2.3.2 <i>Eugenia selloi</i> - Pitangatuba	26
2.3.3 Propriedades terapêuticas das espécies de <i>Eugenia</i>	28
2.4 Métodos químicos para a determinação da atividade antioxidante	32
2.4.1 Métodos eletroquímicos	33
2.4.2 Voltametria cíclica	34
2.4.3 Voltametria de pulso diferencial	35
2.4.4 Voltametria de onda quadrada	36
2.4.5 Biossensores para análise de antioxidantes e fenóis totais	36
2.4.6 Espectrometria de massas	37
2.5 Considerações sobre a ação vasorrelaxante	38
3 OBJETIVOS	42
4 MÉTODOS	43
4.1 Reagentes e origem das amostras	43

4.2	Preparação de amostras	43
4.3	Ensaio Voltamétrico	43
4.4	Biossensor	44
4.5	Análise por espectrometria de massas	46
4.6	Estudo de artérias isoladas e atividade vasorrelaxante	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6	CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS	64
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A variedade de biomas reflete a enorme riqueza da flora brasileira, abrigando a maior biodiversidade do planeta. Esta abundante variedade traduz em mais de 20% do número total de espécies do planeta, sendo o país classificado como um dos 17 países megadiversos quanto à fauna e flora. Inúmeras espécies brasileiras possuem importância econômica mundial como caju, açaí, jambo, pitanga, uvaia, goiaba, araçá, jabuticaba, cambuí e cagaita dentre outras (Santana et al., 2022; Brasil, 2024).

Dentre os frutos endêmicos estão a pitanga (*Eugenia uniflora* L) e a pitangatuba (*Eugenia selloi* B.D.Jacks) que são frutas nativas do Brasil pertencentes à família Myrtaceae. Essas espécies de *Eugenia* são consideradas superfrutas, cuja relevância encontra-se associada ao seu alto teor de vitaminas, minerais, fibras, e constituintes químicos bioativos como carotenoides e sua rica composição polifenólica que pode modular o processo inflamatório, bem como reduzir a produção de Espécies Reativas ao Oxigênio e Nitrogênio (ERO/ERN) (Lazarini et al., 2018; Silva et al., 2022).

O termo "pitanga" origina-se do tupi antigo *yba pytanga*, que significa "fruta avermelhada" (*yba*: "fruta" + *pytang*: "avermelhada"), em alusão à coloração mais frequente do fruto. Além disso, a espécie é comumente chamada de cereja brasileira, cereja do Suriname e, no norte do Brasil, recebe o nome de ginja (Bezerra et al., 2020). Suas aplicações são diversas como planta ornamental, frutífera e medicinal. Possui fruto de polpa carnuda, sabor agradável e refrescante, exótico, adocicado e levemente ácido, podendo ser consumida fresca ou processada. Além disso, a pitanga é utilizada na cosmetologia e na produção de alimentos em forma de polpas congeladas, sucos, iogurtes, geleias, doces, refrescos, sorvetes, licores e vinhos (Silva e Lima, 2022).

Ademais, a pitanga apresenta baixo teor lipídico e calórico e altas quantidades de compostos fenólicos, carotenoides e pigmentos (Biazotto, 2019; Silva et al., 2022). Estudos sugerem que as pitangas, em especial as roxas, possuem alta concentração de antocianinas, assim como apresentaram outros compostos fenólicos que são atribuídos a numerosos benefícios à saúde humana (Baggeti et al., 2006; Martinelli, 2019; Pereira, 2020). Dentre esses benefícios estão a redução dos efeitos deletérios de doenças silenciosas como obesidade, hipercolesterolemia, diabetes mellitus,

hipertensão, denominadas como Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs), e anualmente oneram os sistemas de saúde associadas a outros agravos à saúde (Rusin et al., 2013; Marsola et al., 2021; Brasil, 2024).

A pitangatuba (*Eugenia selloi*) é originária de regiões tropicais, sendo registradas principalmente na região sudeste do Brasil (Marins et al., 2021). É popularmente conhecida como “pitangatuba”, “pitangola”, “pitangão” ou “pitanga-amarela”, cujo fruto possui formato oblongo, coloração amarelo brilhante, sabor agridoce agradável com polpa suculenta para consumo *in natura* ou em bebidas, sucos e geleias (Negri, 2016; Araújo et al., 2019). Diversas propriedades farmacológicas são reportadas para esta espécie, incluindo atividade anti-inflamatória, baixa toxicidade *in vivo* e potencial inibidor de radicais livres, os quais estão associados a uma miríade de condições patológicas e estão relacionados à atividade física e qualidade de vida (Lazarini et al., 2020).

A promoção da qualidade de vida e diminuição dos efeitos deletérios dos radicais livres podem estar associadas ao consumo diário de compostos polifenólicos presentes nos alimentos, nos quais auxiliam na neutralização das espécies reativas do oxigênio e nitrogênio, reduzindo o estresse oxidativo e, conseqüentemente, prevenindo ou retardando a patogênese de diversas enfermidades (Enache et al., 2020).

A literatura reporta técnicas analíticas para quantificação do teor de polifenólicos totais em extratos fitoquímicos, tais como os métodos radicalares colorimétricos tradicionais como 2,2'-azinobis (Ácido 3-etilbenzotiazolina-6- sulfônico) (ABTS) (Rufino et al., 2007; Leite et al., 2018), e *Folin Ciocalteu* (Escarpa, 2012; Lazarotto et al., 2020). Entretanto, os métodos colorimétricos apresentam limitações quanto ao preparo das amostras, demonstrando baixa especificidade e a possibilidade de opacidade do meio e precipitação de compostos. Uma alternativa às limitações são os ensaios eletroanalíticos que minimizam os interferentes cromáticos. Ademais, destacam-se pelo baixo custo associado à sua execução (Aleixo, 2003; Pacheco et al., 2013; Pisoschi; Cimpeanu; Predoi, 2015; Hoyos-Arbeláez; Vázquez, 2017; Ziyatdinova & Kalmykova, 2023).

Portanto, o presente estudo teve como objetivo determinar as propriedades antioxidante e vasorrelaxante dos extratos brutos obtidos das polpas e cascas das variedades de pitangas e da pitangatuba e correlacionar os resultados obtidos com a composição de bioativos. Nessa expectativa, esta pesquisa visou investigar as

lacunas existentes acerca desta temática, tendo em vista que existem poucas pesquisas publicadas sobre as superfrutas do gênero *Eugenia*, confluindo na falta de informações e, por conseguinte, na baixa disseminação dos dados relativos às características químicas e funcionais dessas frutas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estresse Oxidativo na Patogênese de Doenças

As espécies reativas de oxigênio (ERO) e nitrogênio (ERN) são produtos secundários das reações metabólicas das células, por esse motivo, são inerentes a vida aeróbica e desempenham papéis importantes no sistema de defesa intracelular e transporte de elétrons mitocondrial (Velloso et al., 2021; Hoffmeister et al., 2024).

A produção dessas espécies reativas e dos radicais livres pode ser favorecida por fatores externos, como intoxicação por gases oriundos da poluição ambiental (indireta) ou, pelo tabagismo (direto/indireto), alimentação desequilibrada por excesso ou deficiência de nutrientes; consumo de bebidas alcoólicas e exposição demasiada à diversas fontes de radiação, esses são fatores que podem contribuir para desregular a homeostase celular (Hameister et al., 2020; Velloso et al., 2021).

As principais EROs incluem oxigênio singlete, radical ânion superóxido ($\bullet\text{O}^{2-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical peroxil ($\text{ROO}\bullet$) e hidroxil ($\bullet\text{OH}$) e o ácido hipocloroso (HOCl). Dentre as ERNs incluem óxido nítrico ($\text{NO}\bullet$) e ânion peroxinitrito (ONOO^-) (Birben et al., 2012, Kim et al., 2015; Münzel et al., 2017; Tejero et al., 2019; Ali et al., 2020; Sequeira, 2024).

O radical hidroxil ($\bullet\text{OH}$) exibe a maior atividade oxidativa, sendo o radical mais tóxico conhecido, já que pode oxidar qualquer classe de macromoléculas biológicas, incluindo lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. O principal alvo dos oxidantes são biomoléculas como ácidos nucleicos, carboidratos, lipídios e proteínas (Birben et al., 2012, Kim et al., 2015; Münzel et al., 2017; Tejero et al., 2019; Ali et al., 2020; Sequeira, 2024).

O balanço oxidativo é a relação entre o equilíbrio dos radicais livres e os antioxidantes presentes no organismo. O desbalanço entre essa relação gera o estresse oxidativo nos quais são atribuídos diversos prejuízos à saúde, como doenças neurodegenerativas, cardiovasculares, doenças coronárias, envelhecimento precoce e distúrbios celulares (Salmito et al., 2023; Hoffmeister et al., 2024).

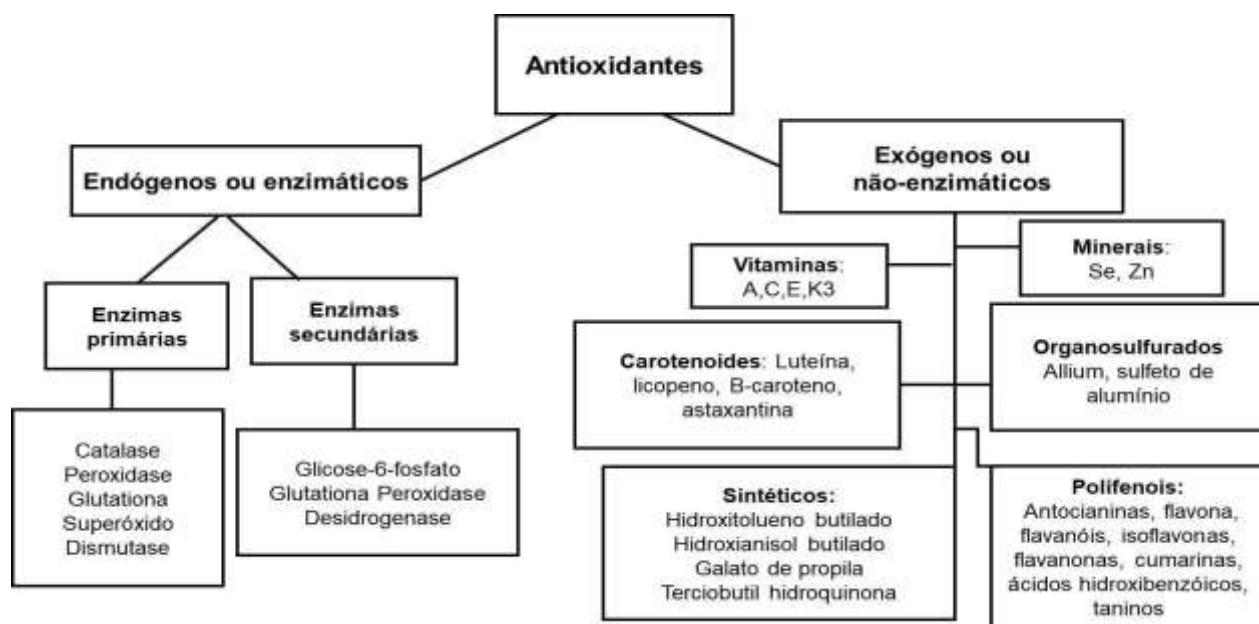
A insuficiência na produção endógena de antioxidantes, desencadeia o desequilíbrio fisiológico denominado de estresse oxidativo que por sua vez, origina do desequilíbrio das altas concentrações de ERO's e ERN's, as quais passam a exercer maior atividade no metabolismo (Lu et al., 2018, Sequeira, 2024).

Algumas estratégias podem ser adotadas com o objetivo de minimizar os impactos no desequilíbrio fisiológico humano, como adoção de estilo de vida saudável, combate ao tabagismo, prática de exercícios físicos e consumo de alimentos ricos em nutrientes presentes em alimentos e especiarias funcionais que são fontes naturais de antioxidantes (Hameister et al, 2020; Curieses Andrés et al., 2023; Dinnat et al., 2024).

2.2 Fontes Naturais de Antioxidantes

As frutas possuem em sua composição química as vitaminas, minerais e fibras, que constituem elementos nutricionalmente relevantes na dieta humana. Nos últimos anos, entretanto, essas fontes alimentares têm recebido maior atenção devido às evidências que associam o consumo regular de vegetais à diminuição da mortalidade e morbidade relacionadas a diversas doenças crônicas não transmissíveis. O potencial efeito protetor desses alimentos é atribuído, em grande parte, à presença de fitoquímicos com propriedades antioxidantes, destacando-se os polifenóis entre os compostos bioativos mais citados na literatura (Youssef, 2014; Borges et al, 2019; Moharram; Velloso, 2021), conforme observado na Figura 1.

Figura 1. Classificação dos antioxidantes: enzimáticos e não enzimáticos.



Fonte: Adaptado de Moreno, 2023.

A alimentação balanceada rica em frutas, vegetais, condimentos, especiarias naturais, sucos e chás permite absorver bioativos, especialmente aqueles com propriedades antioxidantes. As frutas com alto teor de carotenoides, terpenos, vitaminas, minerais e polifenóis como ácidos fenólicos, flavonoides e taninos, são intituladas superfrutas pois, desempenham papel fundamental na neutralização de radicais livres, protegendo assim as células contra o estresse oxidativo (Jia et al., 2019; Silva et al., 2022; Wei et al., 2024).

As vitaminas antioxidantes são capazes de inibir a peroxidação lipídica, captando os radicais livres, além de prevenir os efeitos da oxidação. Já os minerais desempenham um papel indireto na proteção celular e são utilizados como cofatores nas reações enzimáticas de neutralização dos radicais livres (Catania; Barros; Ferreira, 2009; Kumar; Goel, 2019; Remely et al., 2017; Augusto et al., 2022).

Os polifenóis por sua vez, possuem hidroxilas que auxiliam na eliminação de radicais livres por sua alta reatividade como doadores de hidrogênio ou elétron, e, demonstram ser mais eficazes em relação a outros bioativos. Estes compostos presentes nas frutas como cacau, uvas, morangos, maçãs, pitangas, frutas cítricas e vermelhas desempenham papel central na atividade antioxidante (Medeiros et al, 2021; Silva et al., 2022; Morais et al., 2022).

O consumo diversificado de frutas auxilia no efeito protetor dos antioxidantes, portanto, sendo utilizadas estratégias nutricionais para a redução do impacto dos efeitos deletérios do estresse oxidativo e a promoção da saúde em longo prazo. O

consumo das superfrutas devido a quantidade de macronutrientes e micronutrientes funcionais auxiliam a complementação dietética (Araujo; Aquino, 2020; Medeiros et al., 2021).

O interesse crescente por essas frutas não apenas reforça seu potencial terapêutico, como também impulsiona pesquisas sobre sua aplicação em alimentos funcionais e suplementos alimentares, ampliando suas possibilidades de uso na promoção da saúde e na prevenção de doenças (Weng et al., 2015; Bodoira et al., 2017; Rodriguez-Aguilar, 2023; Silva, 2023). Abaixo pode-se observar um tópico relacionado as superfrutas.

2.3 Superfrutas

Os alimentos funcionais são aqueles que possuem substâncias biologicamente ativas em sua composição. Quando incorporados a uma dieta equilibrada, esses alimentos podem promover efeitos metabólicos ou fisiológicos benéficos, contribuindo para a redução do risco de doenças e a manutenção da saúde. No contexto dos alimentos funcionais, destaca-se o conceito de superalimentos (Ferrari et al., 2021; Guimarães et al., 2024).

Cabe salientar que o termo superalimento, foi criado como estratégia de marketing, associando os alimentos de origem natural que possuem diversos componentes bioativos que apresentam muitos benefícios para a saúde. Dentre estes alimentos estão frutas, verduras, oleaginosas, feijões, peixes, leites fermentados e temperos (Lucas, Costa e Brunner, 2022; Cobos e Díaz, 2023; Nowak, Jeziorek, 2023). Dentro do grupo de superalimentos estão as superfrutas representadas como uma subcategoria de frutas que possuem perfis nutricionais com elevada concentração de compostos fenólicos, vitaminas e minerais (Mattaso, 2008; Melo e Silva et al., 2022). Este termo ganhou notoriedade a pouco tempo, trata-se de uma nova abordagem para trazer à tona frutas comuns, exóticas e/ou raras, que são utilizadas como ingredientes ou até mesmo como matérias primas na fabricação de bebidas, alimentos funcionais e nutracêuticos (Chang, Alasalvar e Sahidi, 2019).

Estudos com esta subcategoria levou a identificação e quantificação de vários grupos de fitoquímicos (ácidos fenólicos, flavonoides, proantocianidinas, iridoides, cumarinas, taninos hidrolisáveis, carotenoides e antocianinas), antioxidantes em frutas, como açaí, acerola, goji berry, jabuticaba, jambolão, noni e pitanga (Chang, Alasalvar e Sahidi, 2019; Ferreira et al., 2021), cili, e espinheiro-marítimo. Na China,

há o conceito de preservação da saúde e terapia dietética por meio da ingestão de alimentos benéficos à saúde como exemplo as superfrutas as quais além das atividades reportadas anteriormente apresentam atividades anti-inflamatória, redução do risco de doenças crônicas e melhora da função imunológica. Os fitoquímicos das superfrutas são bioacessíveis e biodisponíveis em humanos com benefícios promissores à saúde. Mais estudos são necessários para validar os benefícios à saúde dessas superfrutas. Isso forneceria informações essenciais para pesquisas futuras e desenvolvimento de alimentos funcionais (Liu et al., 2021).

Neste contexto destaca-se o gênero *Eugenia*, popularmente conhecido como pitanga, pitangatuba e cerejas do cerrado. Entre as mais conhecidas estão a *Eugenia uniflora* (pitanga) e a *Eugenia selloi* (pitangatuba). Abaixo encontra-se uma breve revisão sobre estas superfrutas.

2.3.1 *Eugenia uniflora* - Pitangas

A pitangueira (*E. uniflora* L.) é uma árvore de copa densa, medindo entre 2 e 9 m de altura, ramificada, de formato arredondado, folhagem persistente e sistema radicular profundo (Fidelis et al., 2022; Savall et al., 2022) (Figura 2). É encontrada principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil e em outros países das Américas, Ásia, África e Europa (Alves et al., 2008; Brasil, 2015; Silva e Lima, 2022; Meira et al., 2020; Fidelis et al., 2022; Zhang et al., 2024;). O Brasil possui a maior conservação *ex situ* , embora nem todas as informações estejam disponíveis, pois não houve avaliação e caracterização completas.

Figura 2: Ocorrência das *Eugenias uniflora* L. em 6.084 coordenadas georreferenciadas pelo *Global Biodiversity Information Facility- GBIF*.



Fonte: GBIF, 2025.

Os frutos contém cores vibrantes que variam do amarelo à púrpura, indicando a presença de compostos como as antocianinas e outros derivados fenólicos. A maturação possui uma variação de cores laranja, vermelha e roxa e também em seus metabólitos. Em seus estádios de maturação, há variação da cor do epicarpo da fruta que evolui de verde para laranja e vermelho, e, do verde ao roxo profundo ou quase preto (Pereira 2 et al., 2020). Na Figura 3 encontra-se fotografias de pitanga vermelha e roxa.

Figura 3. Pitanga vermelha e roxa em seus diferentes estádios de maturação.



Pitanga Vermelha



Pitanga Roxa

Fonte: Autor, 2025.

Estudos vêm sinalizando que as diferenças na coloração dos frutos das espécies de *Eugenia* como *Eugenia uniflora* L. e *E. brasiliensis* Lam. ocorrem devido presença de diferentes constituintes químicos, porém em concentrações distintas (Pereira et al., 2020; Fidelis et al., 2022).

2.3.2 *Eugenia selloi* - Pitangatuba

A espécie *Eugenia selloi* é uma fruta nativa brasileira comumente conhecida como “pitangatuba”, descrita pela primeira vez em 1983 pelo taxonomista botânico inglês Benjamin Daydon Jackson disponível no catálogo da vida (Lazarini et al., 2022). Trata-se de uma fruta exótica, sua árvore arbustiva de aproximadamente dois metros de altura, com folhas verde-escuras. A ocorrência foi registrada 440 vezes principalmente na região sul do Brasil, também foi identificada na Argentina, na região Sul da África do Sul conforme pode-se observar na Figura 4.

Figura 4: Ocorrência das *Eugenia selloi* em 440 coordenadas georreferenciadas pelo *Global Biodiversity Information Facility- GBIF*.



Fonte: GBIF, 2025.

O fruto tem formato oblongo, com aproximadamente 4 cm de comprimento e 3 cm de largura, e durante o processo de amadurecimento sua cor evolui do verde até o amarelo vivo. Seus frutos exalam fragrância agradável, sabor agridoce e intenso com polpa succulenta para consumo *in natura* ou em bebidas, sucos e geleias (Araújo et al., 2019). Na figura 5 encontra-se fotografia de uma pitangatuba.

Figura 5. Fruto maduro da espécie *Eugenia selloi* - Pitangatuba



Fonte: Autor, 2025.

Estudos realizados por Vilar et al. (2006) e Lazarini et al. (2020) mostraram uma composição polifenólica rica em componentes bioativos, nos quais foram identificados 16 compostos bioativos no extrato bruto e 13 compostos na fração enriquecida em polifenóis. Entre os compostos identificados destacam-se o ácido hidroxibenzóico (ácido gálico e siríngico sinápico-*O*-hexosídeo), elagitaninos (ácido elágico e Galloyl-HHDP- hexosídeo), flavanóis (epicatequina e seu derivado), flavonas (Apigenin-7- *O*-glucosídeo) e flavonois (Quercetin-*O*-hexosídeo I e II, Kaempferol-3-*O*-glucosídeo) (Vilar et al., 2006; Lazarini et al., 2020).

A pitangatuba destacou-se também pela variedade e concentração de carotenoides, sendo as xantofilas os principais carotenoides encontrados, especificamente o β -CX, sendo considerada provedora de xantofilas bioacessíveis, como a Luteína (Berni et al., 2019).

Entretanto, fatores ecológicos podem influenciar o conteúdo de constituintes bioativos nos frutos. Foi reportado que a sazonalidade influenciou na composição química de suas folhas frescas, onde os principais compostos encontrados nos óleos essenciais foram hidrocarbonetos cíclicos, álcoois cíclicos e sesquiterpenos. Os componentes majoritários do óleo essencial foram biciclogermacreno, germacreno D e β -cariofileno. A precipitação também impactou na composição química dos óleos essenciais de ambas as espécies, refletindo nas suas potencialidades biológicas. O óleo essencial de folhas secas apresentou baixa atividade antioxidante (Defaver et al., 2011).

Estudos farmacológicos realizados com essa fruta mostram que ela é utilizada na terapia etnofarmacológica para auxiliar na despigmentação da pele em casos de vitiligo, haja vista que conta com uma substância fotossensibilizante (Melo et al., 2015).

2.3.3 Propriedades terapêuticas das espécies de *Eugenia*

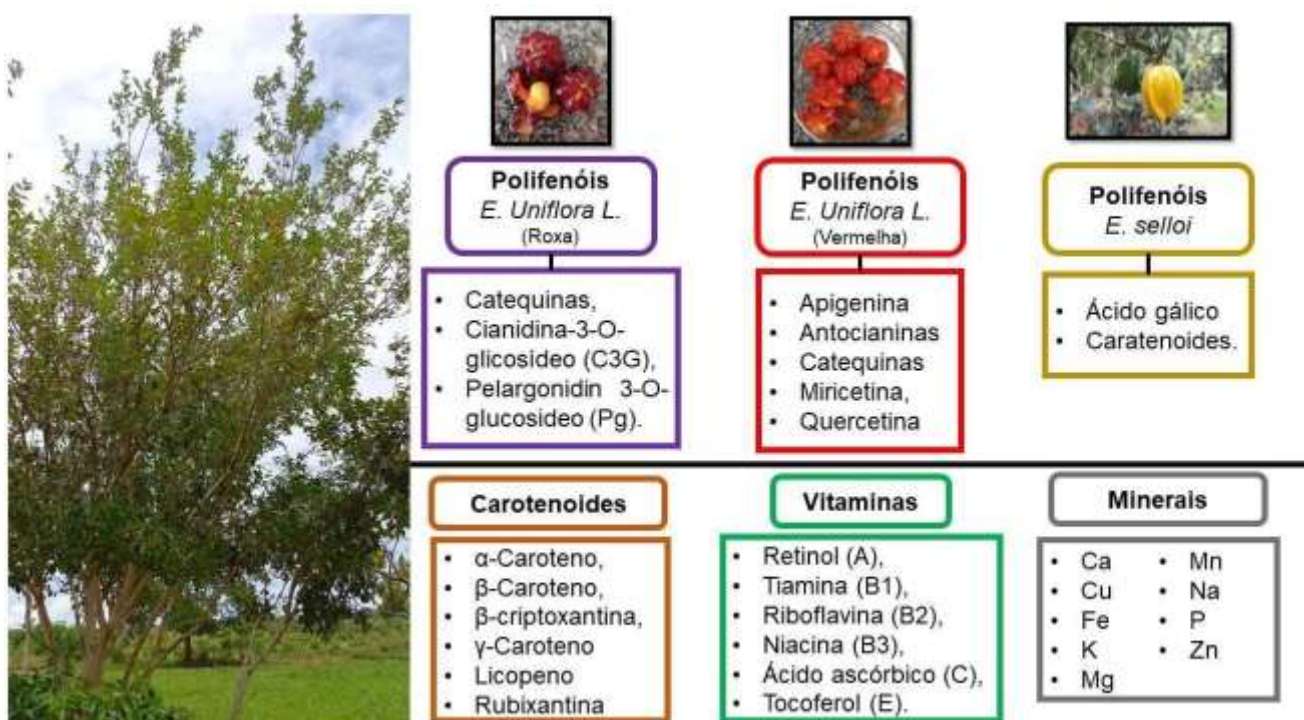
A pitanga (*Eugenia uniflora* L.) é fonte de nutrientes que lhes conferem propriedades nutricionais e biológicas, possui vitaminas, minerais, fibras, em especial possuem capacidade antioxidante, sendo esta um fator de proteção contra várias doenças degenerativas e carcinogênicas. Estudos identificaram em amostras de frutos, folhas e sementes, a presença de compostos fitoquímicos como carotenoides

(licopeno, beta-caroteno e beta-criptoxantina) e fenólicos (flavonas, flavonois e antocianinas).

As folhas são bastante utilizadas na medicina popular como infusão para tratar quadros de febre, bronquites, doenças estomacais, reumatismo, afecções dermatológicas e do aparelho digestivo, gota, febre amarela, hipertensão e como potentes aliadas na redução de peso e diurético (Auricchio et al., 2007; Pereira et al., 2020; Pereira, Monteiro, Siqueira 2020).

Vários estudos descrevem sua composição fitoquímica como rica em compostos fenólicos como os ácidos fenólicos (gálico, elágico, gentísico, valônico) e os flavonoides (quercetina, miricetina, apigenina, kaempferol), alcaloides, glicosídeos cardiotônicos, taninos, triterpenos, terpenos, monoterpênos, sesquiterpenos (curzereno), cumarinas e óleos essenciais (Auricchio; Bacchi 2003; Chang et al., 2011; Costa, 2016; Silva e Lima, 2022; Garmus et al., 2019; Sobeh et al., 2019; Sobeh et al., 2020). Na Figura 6 abaixo, encontram-se os principais constituintes químicos e classes de metabólitos secundários deste gênero.

Figura 6. Principais constituintes químicos e classes de metabólitos secundários presentes nas espécies de *Eugenia*, alvo deste estudo.



Fonte: Autor, 2025.

Sabe-se que os carotenoides possuem várias funções biológicas, sendo alguns precursores da vitamina A e a prevenção de catarata, degeneração macular relacionada com a idade, câncer e doenças cardiovasculares (Souza et al., 2022). Nos frutos de pitanga foram encontrados diversos carotenóides sendo que a rubixantina e o licopeno são os majoritários (Azevedo-Meleiro et al., 2004)

O elagitanino dimérico oenoteína B é o composto fenólico majoritário, tanto nas folhas como nos frutos inteiros das três variedades de pitanga, o que demonstra um grande potencial funcional e medicinal deste fruto, pois esse composto é altamente ativo contra diversos tipos de tumores, além de ser antimutagênico (Santos et al., 2021).

Estudos que versam sobre a capacidade antioxidante dos frutos e das folhas têm demonstrado que esta capacidade está largamente atrelada à presença de compostos fenólicos (Antonelo et al., 2023; Kraus et al., 2023; Dacoreggio et al., 2024). Frutos da pitanga possuem diversos compostos voláteis, os quais também se fazem presentes em óleos essenciais das folhas (Oliveira et al., 2006; Zhang et al., 2024).

Também, foram identificados nos óleos essenciais e nos extratos das sementes propriedades antibacterianas devido à presença de grupos oxigenados na estrutura dos compostos isolados, como os terpenoides, que podem ser responsáveis por esse potencial (Santos et al., 2015; Pereira et al., 2017). Os compostos fitoquímicos das *Eugenias* são variados e dependentes do estágio de desenvolvimento no ciclo de vida e, principalmente, das variações climáticas (Pereira et al., 2020).

Em relação a variedade amarela, ainda há poucos estudos acerca de sua composição química (folhas e frutos). Contudo, há relatos da presença de quercetina, miricetina, quercetina-3-glicosídeo, kaempferol, ácido elágico, cítrico, málico e succínico. Além disso, o conteúdo relativo aos flavonoides em seus estágios de desenvolvimento, não assinalam mudanças significativas, apresentam a miricetina como seu composto majoritário correspondendo a 48% do total de flavonoides, seguido pela quercetina com até 39% do total em comparação com os outros flavonóis. Carotenoides como licopeno e β -caroteno, estão presentes, mesmo apresentando baixa quantidade no estágio mais maduro da fruta (Souto et al., 2017).

Estudos demonstram que a pitanga vermelha destaca-se das demais frutas da mesma espécie por apresentar alto teor de carotenoides. Contudo, na fruta com essa coloração foram identificados os flavonóis como a miricetina, kaempferol e a quercetina (Hoffmann-Ribani et al., 2009). As análises cromatográfica do extrato etanólico no fruto vermelho apresentaram em sua composição ácido gálico e derivados, quercetina e seus derivados, quercetina-3-b-D-glicosídeo, quercetina-3-rammosídeo, derivados de kaempferol, cianidina-3-glicosídeo, derivados de cianidina e malvidina (Denardin et al., 2015).

O extrato das frutas vermelhas de *Eugenia uniflora* demonstrou efeitos neuroprotetores em modelos de roedores. Amostras evidenciaram que o tratamento contínuo com o uso desta espécie, melhorou a atividade da acetilcolinesterase. Observou-se que, nos parâmetros metabólicos e oxidativos gerou mudanças comportamentais induzidas para controlar os modelos pré-existent de estresse crônico decorrente da síndrome metabólica. Notavelmente, os seus efeitos farmacológicos foram associados a uma combinação de vários compostos bioativos, incluindo a cianidina-3-O-glicosídeo e outras antocianinas. A vermelha é rica em antocianinas, que não só conferem a cor vibrante à fruta, mas também têm sido frequentemente associadas à redução do risco cardiovascular. Enquanto a roxa, apresenta uma composição semelhante à variedade vermelha, com destaque para os polifenóis que ajudam na proteção contra o estresse oxidativo (Gaiola & Lima, 2022; Missio et al., 2024).

A pitanga roxa é a variedade mais rara e que segundo alguns estudos é a que possui maior quantidade de fenólicos totais e, portanto, apresenta as propriedades antioxidantes mais altas quando comparada com a pitanga amarela/laranja e a vermelha (Weyerstahl et al., 1988). Esta espécie apresenta aproximadamente o dobro do conteúdo fenólico em comparação ao tipo vermelho (Bagetti et al., 2011). Dentre os compostos fenólicos, estudos demonstram a presença do ácido oleico, quercetina, miricetina, kaempferol e das antocianinas delfinidina, cianidina 3-O-glicosídeo(majoritária), pelargonidina 3-O-glicosídeo , cianidina 3-O-pentosídeo e o derivado de cianidina (Tambara et al., 2018). Também há indícios da presença de carotenoides, sobretudo do licopeno em maior quantidade, enquanto se apresentam em menor quantidade as rubixantinas e luteína.

Estes constituintes químicos são reconhecidos por suas propriedades antioxidantes, as quais têm sido amplamente estudadas por meio de diferentes métodos analíticos, os quais serão explorados a seguir para avaliar a eficácia antioxidante dos extratos das espécies de *Eugenia* selecionados neste estudo.

2.4 Métodos para a avaliação da atividade antioxidante

Na avaliação da atividade antioxidante das duas espécies, *Eugenia uniflora* e *Eugenia selloi*, foram encontrados estudos utilizando métodos espectrofotométricos tradicionais, conhecidos como ABTS e Folin-Ciocalteu, empregados para a quantificação dos fenóis totais e a comparação dos mesmos com as técnicas voltamétricas. Os métodos espectrofotométricos apresentam diversas limitações, especialmente no que diz respeito à preparação das amostras. Fatores como precipitação, partículas em suspensão e a opacidade do meio podem interferir nas medições de absorvância, levando a uma possível subestimação ou superestimação dos Fenóis Totais (FT) (Rufino et al., 2007; Lazzaroto et al., 2020; Sacramento et al., 2023).

As técnicas eletroquímicas se apresentam como uma opção viável para a avaliação rápida, precisa e econômica da capacidade antioxidante (CA) de alimentos e bebidas, levando em consideração algumas desvantagens dos métodos espectrofotométricos tradicionais, como o prolongado tempo de análise, a complexidade na preparação das amostras, e o uso de reagentes que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, além de tempos de reação não definidos (Enache et al., 2020; Alizadeh et al., 2022).

As técnicas eletroquímicas despontam como soluções alternativas, superando algumas das dificuldades dos métodos espectrofotométricos, tais como o uso de reagentes onerosos e não sustentáveis, a indefinição dos tempos de reação, o extenso pré-tratamento das amostras e a limitada precisão e sensibilidade (Macedo et al., 2016; Enache et al., 2020).

2.4.1 Métodos eletroquímicos

Os métodos analíticos eletroquímicos possuem uma ampla gama de aplicações. Pesquisas demonstram sua eficácia na avaliação da capacidade antioxidante (Macedo et al., 2017; Leite et al., 2018), na identificação e quantificação de fármacos (Hoyos-Arbeláez et al., 2018), além de apresentar um grande potencial para inovações (Macedo et al., 2016).

Entre suas vantagens, destacam-se a abundância de propriedades eletroativas nas substâncias químicas, a seletividade, alta sensibilidade, baixos limites de detecção, versatilidade dos experimentos, possibilidade de miniaturização dos ensaios sem comprometer a performance analítica, custo reduzido, rapidez nas análises e sustentabilidade (Escarpa, 2012; Pacheco et al., 2013; Hoyos-Arbeláez et al., 2018).

Dentro das técnicas eletroanalíticas, a voltametria se destaca por permitir tanto estudos qualitativos quanto quantitativos, além de elucidar o perfil redox de um determinado composto químico ao investigar os fenômenos que ocorrem na interface entre o eletrodo de trabalho e a solução. Essa técnica é considerada dinâmica, pois baseia-se na aplicação da corrente elétrica (i) em função de um potencial (E) aplicado, resultando em um gráfico conhecido como voltamograma (Skoog, 2009; GIL, 2007).

Os experimentos são conduzidos em uma célula eletroquímica contendo solução tampão, que garante a condutividade elétrica no meio reacional. O sistema pode incluir dois, três ou quatro eletrodos, sendo o arranjo com três eletrodos o mais comum. Este consiste em um eletrodo de trabalho, um eletrodo de referência e um contra-eletrodo (ou eletrodo auxiliar). Assim, as informações sobre o analito são obtidas medindo a magnitude da corrente elétrica entre os eletrodos de trabalho e contra-eletrodo ao se aplicar uma diferença de potencial entre os eletrodos de trabalho e referência (Pacheco et al., 2013).

O eletrodo de trabalho, que originalmente era feito de mercúrio na técnica da polarografia, é nele que ocorrem as reações eletroquímicas. Atualmente, é comumente confeccionado a partir de materiais inertes como platina, ouro, mercúrio, carbono em pasta ou carbono vítreo. Além disso, para aplicações mais sensíveis, são utilizados eletrodos feitos de materiais nanoestruturados e que incorporam biomoléculas em biossensores. O eletrodo auxiliar, que tem a função de drenar o excesso de corrente elétrica, é geralmente feito de platina, embora também possa ser

fabricado com ouro ou carbono vítreo. Já o eletrodo de referência, que mantém um potencial constante, tem como o mais comum o Ag/AgCl/KCl saturado a 3 M (Liu et al., 2012; Pacheco et al., 2013).

A magnitude dos fenômenos que ocorrem entre a espécie analisada, o eletrodo de trabalho e o meio reacional pode ser compreendida por meio dos processos que transportam a espécie eletroativa da solução até a interface do eletrodo. Esse processo é conhecido como transporte de massa. Também ocorre a transferência de carga, que envolve trocas de elétrons na superfície do eletrodo. Além disso, podem acontecer reações químicas que sucedem ou precedem a transferência eletrônica. Essas reações podem ser homogêneas, como protonação e dimerização, ou heterogêneas, como adsorção, dessorção, decomposições catalíticas e cristalização (Pacheco et al., 2013).

As técnicas voltamétricas mais utilizadas para avaliar a capacidade antioxidante e o comportamento redox dos polifenóis naturais incluem Voltametria Cíclica (CV), Voltametria de Pulso Diferencial (DPV) e Voltametria de Onda Quadrada (SWV), que se diferenciam pela aplicação do potencial e pela forma como o sinal analítico é obtido (Baldeón et al., 2015; Piovesane et al., 2015; Hoyos-Arbeláez et al., 2018).

2.4.2 Voltametria cíclica

Entre as técnicas mais frequentemente empregadas para obter informações qualitativas, destaca-se a voltametria cíclica, que é utilizada para caracterizar o perfil de oxirredução de um composto químico, analisar a cinética de reações heterogêneas de transferência de elétrons e investigar processos de adsorção (Skoog et al., 2009). Essa técnica é baseada na varredura linear ou em degraus de um potencial com formato triangular ao longo do tempo. O potencial é aplicado ao eletrodo de trabalho e, em seguida, retorna ao seu valor inicial (Pacheco et al., 2013).

A inversão dos potenciais durante o experimento é conhecida como ciclização do potencial de partida, resultando na formação de voltamogramas que permitem a observação dos picos de oxidação (anódica) e redução (catódica) (Skoog et al., 2009).

2.4.3 Voltametria de pulso diferencial

A técnica de Voltametria de Pulsos Diferenciais possui grande relevância na eletroquímica, ela se caracteriza pela seleção de um potencial inicial em que não há corrente faradaica presente. Sob essas condições, são aplicados pequenos pulsos com duração geralmente entre 5 e 100 ms e amplitude fixa, sobrepostos a uma rampa de potencial crescente. Durante o processo, as correntes são medidas antes (S1) e após (S2) a aplicação do pulso. O voltamograma, que apresenta picos de corrente com formato gaussiano, é obtido pela diferença entre essas duas correntes, permitindo a correção da corrente capacitiva (Skoog et al., 2009).

Assim, a DPV proporciona uma resolução superior dos picos anódicos, apresentando uma sensibilidade maior do que a CV, com limites de detecção na ordem de 10^{-8} mol L⁻¹. A área obtida no voltamograma é diretamente proporcional à concentração do analito, conforme a Equação 1, onde n representa o número de elétrons envolvidos na reação redox, F é a constante de Faraday (coulombs), A é a área do eletrodo (cm²), D é o coeficiente de difusão (cm²/s), C é a concentração do analito (mmol L⁻¹) e t_m é o tempo entre as leituras final e inicial da corrente (s) de acordo com a equação 1 (Pacheco et al., 2013).

$$\text{Equação 1: } i_p = \frac{nFAD^{1/2}C}{\sqrt{\pi t_m}} \left(\frac{1 - \sigma}{1 + \sigma} \right)$$

A técnica foi empregada para a determinação quantitativa de eugenol em um produto farmacêutico. As correntes de pico mostraram-se lineares na faixa de concentração de $1,0 \times 10^{-7}$ a $1,7 \times 10^{-5}$ M, apresentando limites de detecção e quantificação de $7,0 \times 10^{-9}$ e $2,3 \times 10^{-8}$, respectivamente (Yildiz et al., 2017). Além disso, a DPV demonstrou ser confiável e eficiente na avaliação da capacidade antioxidante de diversas fontes naturais, como frutas vermelhas (Macedo et al., 2017), mel (Oliveira Neto et al., 2017), pimentas (Machado et al., 2021) e plantas medicinais (Leite et al., 2018).

2.4.4 Voltametria de onda quadrada

Pode-se citar ainda outra forma de análise eletroquímica a Voltametria de Onda Quadrada, que consiste em uma variação de potencial em forma de onda quadrada, sobreposta a um degrau de potencial, onde um pulso completo da onda quadrada corresponde a um degrau da escada. Assim, a corrente é apresentada no sentido da oxidação (positivo) e da redução (negativo), gerando um pico para cada um desses processos. Isso permite a análise simultânea dos processos de oxidação e redução em um único escaneamento da amostra (Janeiro; Oliveira-Brett, 2005).

A eficiência da SWV foi avaliada em estudos para a determinação de cafeína e teobromina no cacau amazônico. Foram elaboradas curvas analíticas que apresentaram limites de detecção e quantificação de $0,027 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $0,093 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente, para a cafeína, e de $0,025$ e $0,085 \mu\text{mol L}^{-1}$ para a teobromina. A técnica provou ser uma excelente ferramenta analítica para o controle de qualidade do cacau e do chocolate fermentado (Gomes Júnior et al., 2019). Com base nessas técnicas eletroquímicas, a intensidade da corrente elétrica gerada pode ser correlacionada à concentração de determinados analitos e espécies eletroativas presentes na amostra (Dede et al., 2014; Macedo et al., 2016).

2.4.5 Biossensores para análise de antioxidantes e polifenóis totais

Biossensores são dispositivos analíticos que por meio de reações bioquímicas de enzimas, tecidos, organelas, células, anticorpos, proteínas podem detectar compostos químicos por sinais elétricos, térmicos ou ópticos, convertendo e amplificando o sinais biológicos mensuráveis para leitura analítica (Iupac, 1992; Thevenot et al., 2001; Magro et al., 2020).

O reconhecimento biológico é realizado por meio dos elementos de reconhecimento como anticorpos, enzimas, DNA, RNA, aptâmeros e células que interagem com os alvos que podem ser metais pesados, Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), vírus, bactérias, proteínas, fenois (Leonardis et al., 2015).

A transdução do sinal analítico é feita por fluorescência, reflectância, eletroquímico, piezelétrico, que processam o sinal através da conversão de sinal e amplificação, os tornando aplicáveis em análises nas áreas médicas, controle

ambiental, controle da qualidade de ar, qualidade de água, detecção de micotoxinas relacionados ao bioterrorismo, patógenos, gases tóxicos, na área industrial alimentícia, detecção de poluentes dentre outros (Almeida et al., 2019).

Os biossensores enzimáticos de oxirredutases auxiliam na detecção de compostos fenólicos. Existem mais de 5.000 compostos fenólicos catalogados na literatura capazes de produzir variações estruturais nos radicais substituintes, amplamente encontrados na natureza, apresentando diversas propriedades em uso (Andrei et al., 2016; Mollania et al., 2018; Farag et al., 2020).

Dentre os sensores enzimáticos é possível fazer análise utilizando um extrato aquoso com diferentes tipos de biossensores, como o de *Cordia superba* utilizando parâmetros que auxiliam na funcionalidade do sensor possibilitando as otimizações com base na RDC 166 (Brasil, 2017; Batista et al., 2022).

O funcionamento eficaz e otimizado apresentam características que influenciam diretamente na detecção como a imobilização biológica, a interação molécula biológica e substrato, a seletividade e especificidade relacionado aos parâmetros físico-químicos presentes no sensor, que serão convertidos em sinais quantificáveis direta ou indiretamente (Sethuraman et al., 2016).

2.4.6 Espectrometria de Massas

A Espectrometria de Massas é uma técnica analítica que ioniza espécies químicas e separa os íons, baseado em suas relação massa/carga, podendo medir quantitativamente as massas em uma amostra. A Ionização por Electrospray é uma técnica utilizada na Espectrometria de Massas para produzir íons através de um electrospray, determinando o peso molecular de uma ampla variedade de analitos. É utilizado em métodos analíticos de moléculas polares que apresentam íons em solução aquosa, transformando-os em íons em fase gasosa. A amostra em solução advinda da LC é pulverizada através de uma agulha onde é aplicada uma corrente elétrica de alta voltagem (potencial elétrico de em média 5kV), criando um aerosol carregando os íons. As gotículas formadas evaporam-se devido ao calor aplicado em um capilar que recebem as gotículas em partículas cada vez menores. Os íons saem das gotículas dirigindo-se para o analisador de massas através da manutenção de um campo elétrico. A partir daí, os íons são separados quantitativamente através de sua razão massa/carga no analisador de massas (Ho et al., 2003; Pozniak e Cole, 2007).

Os constituintes fitoquímicos do extrato bruto hidroalcolico das folhas de

Eugenia uniflora, assim como sua fração, subfrações e polifenóis purificados foram caracterizados por espectrometria de massas. Onde encontraram-se as seguintes substâncias: da fração polifenólica (miricitrina) e a fração elágica (ácido elágico) (Tenório et al., 2024), Em outro estudo realizou-se a identificação e quantificação de antocianinas e compostos fenólicos utilizando a espectrometria de massas deste mesmo fruto nativo do Brasil para investigar a composição química do fruto da pitanga roxa e avaliar seu efeito antioxidante. Dentre as antocianinas foram encontradas: delphinidina 3-O-glucosídeo, cianidina 3-O-glicosídeo, pelargonidina 3-O-glicosídeo, cianidina 3-O-pentosídeo e derivado da cianidina, quanto aos compostos fenólicos foram encontrados diversos, dentre eles a miricetina 3-O-hexosídeo, quercetina 3-O-hexosídeo, quercetina 3-O-pentosídeo, quercetina 3-O-desoxihexosídeo (Tambara et al., 2018).

2.5 Considerações sobre a ação vasorrelaxante

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), é estimado que cerca de 600 milhões de pessoas em todo o planeta tenham Hipertensão Arterial Sistêmica (HAS) e que cerca de 7,1 milhões de pessoas irão à óbito em decorrência dessa doença (Malta et al., 2017).

A HAS é uma doença crônica multifatorial, assintomática, definida pelo aumento da Pressão Arterial (PA), sendo considerada PA não-elevada: PAS < 120 mmHg e PAD < 70 mmHg; PA elevada: PAS 120-139 mmHg e PAD 70-89 mmHg; Hipertensão arterial sistêmica: PAS ≥ 140 mmHg ou PAD ≥ 90 mmHg, o desequilíbrio da homeostase dos vasos, promove desequilíbrio entre a vasodilatação e a vasoconstrição causando elevação da pressão arterial (Barroso et al., 2021; Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial, 2024).

Existem muitos fatores que podem causar hipertensão, tais como estilo de vida, hábitos alimentares, sedentarismo, estresse, obesidade visceral, a idade entre outros (Mahan et al., 2011; Meira et al., 2017). Devido à alta incidência de hipertensão e doenças cardíacas, o controle da pressão arterial se faz necessário e urgente, tem-

se estimulado o desenvolvimento de políticas públicas e pesquisas buscando compostos nutricionais e bioativos para promoção da saúde (Marmitt et al., 2016 ; Galasso et al., 2019).

Em relação a estrutura do sistema cardiovascular, cabe salientar que o endotélio vascular é formado por uma camada única de células, que reveste a superfície luminal de todos os vasos sanguíneos e localiza-se na interface entre a parede vascular e o sangue, que regula várias funções nos vasos, exerce funções essenciais na regulação do tônus vascular e na manutenção da homeostase cardiovascular (Carvalho et al., 2001; Tousoulis et al., 2012; Kooiman et al., 2013; Giannitsi et al., 2019). De acordo com a literatura, a regulação do tônus vascular é fundamental para o controle da pressão arterial, tornando-se imprescindível a manutenção da integridade do endotélio vascular para um controle adequado da pressão arterial (Bragulat et al., 2001; Zicha et al., 2014). As células endoteliais são responsáveis pela síntese e liberação de substâncias que podem atuar na vasodilatação ou vasoconstrição, sobre a musculatura lisa, inibindo ou estimulando proteínas contráteis (Carvalho et al., 2001; Coleman; Tare; Parkington, 2004).

O endotélio libera substâncias vasoativas, e a determinação de sua biodisponibilidade local, podem influenciar o tônus vascular, a tromborregulação, a adesão e proliferação celular (Giribela et al., 2011). Exemplos de substâncias vasoativas derivadas do endotélio são o Óxido Nítrico (NO), a prostaciclina e Fator Hiperpolarizante Derivado do Endotélio (EDHF). O óxido nítrico é uma molécula endógena que é sintetizada a partir de uma reação de oxidação catalisada por alguma das isoformas (constitutiva ou induzida) da enzima Óxido Nítrico Sintase (NOS), que utiliza a L-arginina como substrato, para formar NO e L-citrulina (Viaro; Nobre; Evora, 2000; Xie et al., 2014). Este NO endógeno é capaz de se difundir através das células para o músculo liso vascular e desencadear uma cascata de reações que conduzem à redução da concentração citosólica de Ca^{2+} nestas células por diferentes vias, promovendo o relaxamento desta musculatura lisa vascular (Pereira et al., 2013; Svenningsen et al., 2014).

O endotélio também sintetiza substâncias vasoconstritoras como a prostaglandina H₂ (PGH₂), endotelina1 (ET-1), tromboxano A₂, a angiotensina II (Ang II) e os ânions superóxidos ou espécies reativas de oxigênio (Carvalho et al., 2001).

As EROs, além de reagirem com o NO diminuindo sua biodisponibilidade, agem nos vasos causando danos e estimulando o remodelamento vascular, prejudicando a transdução de sinais que ocorre a partir do endotélio vascular para o músculo liso, além de alterar também a permeabilidade da camada endotelial facilitando a aderência de leucócitos (Silva; Cerchiaro; Honório, 2011; Kooiman et al., 2013; Kanikarla-Marie; Jain, 2014) . Dentre várias EROs, as que apresentam maior relevância para estudos cardiovasculares são: o ânion superóxido (O_2^-), o peróxido de hidrogênio(H_2O_2), o radical hidroxil (OH^-) e o peroxinitrito ($OONO^-$) , formado a partir da reação do O_2^- com o NO (Hamilton et al., 2001; Lassègue; Griendling, 2004).

Devido à alta prevalência de hipertensão e doenças cardíacas, a OMS, tem estimulado o desenvolvimento de políticas públicas que priorizam a utilização de plantas medicinais no tratamento de doenças, e enfatiza a necessidade de novas pesquisas com plantas e produtos naturais (Marmitt et al, 2016; Lucena; Guedes, 2020).

Os polifenóis constituem um vasto e rico grupo de compostos bioativos fitoquímicos, encontrados em frutas, chás, especiarias, vinho e vegetais, os quais possuem um papel fundamental na profilaxia de determinadas patologias, tais como doenças cardiovasculares, câncer, osteoporose, Diabetes Mellitus (DM), e doenças neurodegenerativas (Pereira, 2021; Frias, 2023).

A espécie *Eugenia uniflora* L., destaca-se pela sua complexa composição fenólica que apresenta ações antioxidante, hipoglicemiante, antirreumáticas e como agente hipotensivo (ALMEIDA et al., 1995; Meira E et al., 2017). Em alguns estudos foi verificado que o extrato das folhas de *Eugenia uniflora* apresentou ação hipotensora, diurética e vasodilatadora quando testadas em ratos. Os autores do estudo concluíram que essa ação pode estar relacionada com um aumento do fluxo sanguíneo renal (Consolini et al., 1999; Cirqueira, 2005).

A atividade hipotensora da *Eugenia uniflora* concentra-se na investigação das propriedades farmacológicas de suas folhas e dos frutos, resultados confirmados no presente estudo. Até a presente data, não existem estudos científicos que avaliem os potenciais efeitos vasodilatadores e hipotensores associados ao fruto e a casca da pitanga. Dessa forma, mesmo que seja popularmente utilizada há muito tempo,

evidencia-se a necessidade de pesquisas adicionais que explorem os benefícios, os mecanismos de ação e a segurança do consumo desse fruto, a fim de fornecer embasamento científico sólido para sua utilização.

OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a atividade antioxidante de extratos obtidos de frutos de diferentes variedades de pitanga e pitangatuba, correlacionando esta com a composição de bioativos majoritários e ação vasorelaxante.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar o perfil eletroquímico dos compostos por métodos eletroanalíticos, CV, DPV e SWV, em diferentes condições experimentais das pitangas e da pitangatuba;
- Aplicar biossensor à base de polifenoloxidase extraída de *Cordia superba* para avaliar a capacidade antioxidante dos frutos de pitanga e pitangatuba;
- Aplicar a espectrometria de massas de alta resolução, utilizando ionização por eletrospray em modo positivo, com os analisadores Orbitrap-MS e Q-TOF-MS, para caracterizar os compostos presentes nos extratos dos frutos de pitanga e da pitangatuba;
- Correlacionar composição química majoritária das pitangas e pitangatuba, com propriedades biológicas, *i.e.*, potencial antioxidante e vaso relaxante.

4 MÉTODOS

4.1 Reagentes e origem das amostras

Todas as soluções eletrolíticas foram utilizadas com pureza analítica e foram diluídos em água destilada e água Milli-Q (Condutividade $0:1 \leq \mu\text{S. cm}^{-1}$) (Millipore S. A., Molsheim, França). Ácido gálico, etanol, metanol foram adquiridos da Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, Mo, EUA).

Foram utilizadas três amostras diferentes de espécies de *Eugenia*, sendo elas: *Eugenia uniflora* roxa, *Eugenia uniflora* vermelha e *Eugenia selloi*, coletadas na faculdade de farmácia, Universidade Federal de Goiás-UFG, situada em Goiânia-GO e na zona rural do Município de Trindade-GO.

4.2 Preparo de amostras

Os extratos de *Eugenia* foram obtidos usando 2 g de polpa dos frutos e 10 mL de solução extratora, em diferentes concentrações de água, etanol e metanol, além do método de extração *in natura* por meio de maceração por 2 minutos. As proporções das soluções extradoras foram 100% de água, 50% de etanol e 50% de água, 50% de metanol e 50% de água.

As amostras foram agitadas em agitador vortex por 1 minuto e 5 minutos em centrifugação a 2500 rpm. Para evitar a presença de metanol nos ensaios farmacológicos (que poderia danificar os tecidos vasculares), as amostras foram feitas *in natura* para a *E. uniflora* roxa e vermelha.

4.3 Ensaios Voltamétricos

A eletroanálise foi realizada no potenciostato/galvanostato Autolab III® integrado ao software NOVA 2.1 (Metrohm). As medições foram realizadas em uma célula eletroquímica de compartimento único de 10 mL com sistema de 3 eletrodos, composto por um eletrodo de pasta de carbono, um eletrodo 3M Ag/AgCl/KCl sat e um fio de platina (adquirido da Lab Solutions, São Paulo, Brasil), representando o eletrodo de trabalho, de referência e auxiliar, respectivamente. As condições experimentais

para DPV foram amplitude de pulso de 50 mV, largura de pulso de 0,5 s e taxa de varredura de 10 mV.s⁻¹.

As condições experimentais para SWV foram amplitude de pulso de 50 mV com frequência de 50 Hz e aumento de potencial de 2 mV, correspondendo a uma taxa de varredura de 100 mV.s⁻¹. As condições experimentais para CV foram a faixa de varredura de 0,0 a 1,0 V e taxa de varredura de 100 mV.s⁻¹. Os voltamogramas DPV foram corrigidos na linha de base e todos os dados foram analisados e processados no software Origin 9.0.

Todos os experimentos foram realizados em temperatura ambiente (21 ± 1 °C) em triplicata, e o principal eletrólito utilizado foi Solução Tampão Fosfato 0,1 M (PBS) pH 7,0.

4.4 Biossensor

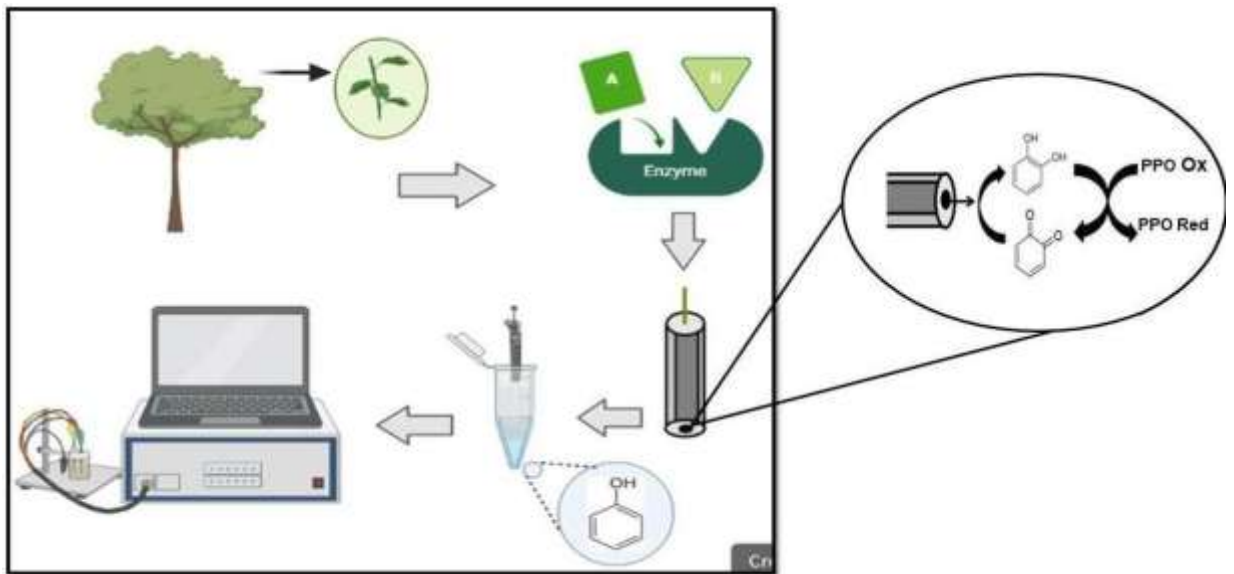
O material vegetal de *Cordia Superba Cham* (CS) foi coletado de uma única planta localizada em Goiânia, Brasil, em fevereiro de 2024. Para obtenção do extrato bruto foram utilizados os ramos, que foram pesados e encontrou-se o valor de 2 g, com tamanhos de aproximadamente 5 cm adicionados a solução de PBS por 10 min. A solução foi homogeneizada e filtrada em papel de filtro, resultando no extrato bruto de *Cordia superba* (Batista et al., 2022).

O biossensor eletroquímico PPO-*Cordia superba* foi preparado de acordo com dados anteriores do grupo de pesquisa, com 70 mg de pó de grafite e 50 µL de extrato de *Cordia superba*. A mistura foi deixada secar à temperatura ambiente por aproximadamente 2 h (28 °C). Em seguida, 30 mg de óleo mineral foram adicionados para obter uma pasta homogênea. Uma quantidade da pasta aglutinada foi usada para preencher a cavidade com 2 mm de diâmetro e 0,5 mm de profundidade no porta-eletrodo, originando os biossensores eletroquímicos PPO baseados no extrato bruto de *Cordia superba*, CP50CS (Batista et al., 2022). Na Figura 7 pode ser observada a esquematização da preparação do biossensor enzimático.

Todas as análises voltamétricas foram realizadas em um potenciostato/galvanostato PGSTAT® modelo 204 integrado ao software NOVA2 1® (Metrohm Autolab, Utrecht, Holanda). Os experimentos foram realizados em célula eletroquímica (10 mL) com um sistema de três eletrodos consistindo de biossensor eletroquímico PPO, um fio de platina (Pt) e Ag/AgCl/KCl_{sat}, como eletrodo de trabalho,

auxiliar e de referência, respectivamente. A pasta de carbono foi renovada manualmente para cada experimento, a fim de garantir a eficácia e reprodutibilidade dos resultados.

Figura 7. Esquemática da preparação do biossensor enzimático de *Cordie. superba*, e o mecanismo enzimático redox da polifenoloxidasas com o marcador fenólico catecol em 1,2-Benzoquinona.



Fonte: Batista et al., 2022.

Com base em resultados anteriores (Batista et al., 2022), o biossensor eletroquímico PPO foi condicionado antes do uso em tampão acetato (pH 5,0) com voltametria cíclica e 10 varreduras sucessivas, 50 mV s^{-1} , foram realizadas, em uma faixa de potencial de 0,0 a 1,0 V. A técnica DPV foi escolhida para realizar as análises de compostos fenólicos. As condições operacionais foram amplitude de pulso de 50 mV, largura de pulso de 0,5 segundos e taxa de varredura de 10 mVs^{-1} . Todos os experimentos eletroquímicos apresentados neste trabalho foram realizados em tampão acetato pH 5,0, em triplicata ($n = 3$) e à temperatura ambiente ($28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$).

4.5 Análise por Espectrometria de massas dos extratos de *Eugenia*

O extrato fitoquímico na concentração de 200 µg/mL foi injetado no espectrômetro de massas de alta-resolução Q Exactive Orbitrap MS usando uma fonte de ionização electrospray em modo positivo de ionização (ESI (+)). Para a anotação estrutural dos metabólitos majoritários, os dados de espectrometria de massas em tandem (análise de fragmentação MSⁿ) foram confrontados com bibliotecas espectrais de domínio público.

A atribuição de fórmulas moleculares foi realizada empregando o software Xcalibur™. Para determinação de estruturas moleculares, os íons majoritários detectados no espectro de massas foram fragmentados com energia de colisão de 20, 25 e 30 eV. A faixa de massa nos experimentos completos de varredura MS foi *m/z* 100-1100 e a identificação estrutural foi realizada com base nos padrões de fragmentação MSⁿ e intensidade dos íons.

4.6 Estudo de artérias isoladas e atividade vasorrelaxante

Foram utilizados ratos da linhagem Wistar, machos entre 200 a 250 g. Sendo que esses animais foram fornecidos pelo biotério central da Universidade Federal de Goiás e mantidos no biotério da Faculdade de Farmácia da respectiva universidade. Os ratos (n= 5 para cada protocolo diferente) foram anestesiados, eutanasiados (punção cardíaca e exsanguinações) e a aorta torácica foi removida, limpa e cortada em anéis (± 3-4 mm de comprimento), colocados em banho de órgãos (10 mL) entre dois estribos de aço inoxidável e conectados a um sistema computadorizado e uma unidade de aquisição de dados WinDaq Resource (DATAQ Instruments, Akron, OH, EUA) para medir a tensão isométrica vascular.

Curvas concentração-efeito para *E. uniflora* sp. para investigar o mecanismo responsável pelo relaxamento induzido por *E. uniflora* sp. em anéis aórticos com endotélio intacto foram pré-contraídos com fenilefrina (0,1 µM) 30 min após incubação com o inibidor da óxido nítrico sintase (L-NAME, 100 µM). As artérias controle receberam o mesmo tratamento sem L-NAME.

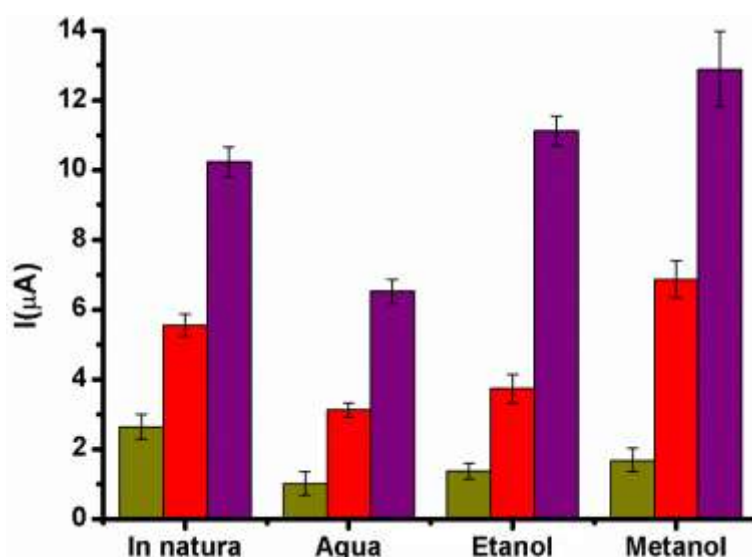
Efeito de *E. uniflora* sp nas contrações induzidas pelo influxo de Ca^{2+} : Para avaliar a contribuição relativa desta planta na contração induzida por influxo extracelular de Ca^{2+} , curvas concentração-resposta para KCl (0–150 mM) foram geradas em solução normal de Krebs na ausência ou presença (30 min, 300 μL) de *E. uniflora* vermelha (8,121 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) ou *E. uniflora* roxa (47,67 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos desenvolvidos nas últimas décadas vêm demonstrando que a capacidade antioxidante de frutos e folhas está diretamente relacionada com a concentração de compostos fenólicos (Antonello et al., 2023; Kraus et al., 2023; Dacoreggio et al., 2024). Tendo em vista que as espécies de pitanga e pitangatuba são constituídas por complexas composições metabólicas que possuem metabólitos de diferentes polaridades, a escolha do solvente extrator ou método de extração utilizado é crucial para efetuar uma extração de maior variedade desses compostos.

Para isso, as extrações em diferentes solventes, foram analisadas por meio do pico de corrente anódica I_{pa} e como os valores de I_{pa} indicam a quantidade de espécies eletroativas presentes nas amostras, pode-se inferir que a *Eugenia uniflora* roxa apresenta a maior concentração de espécies eletroativas, e, portanto, a maior capacidade antioxidante quando comparada as outras *Eugénias* analisadas, conforme observado no gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultados obtidos de diferentes soluções extratoras dos frutos da *Eugenia uniflora* roxa (—), *Eugenia uniflora* vermelha (—) e *Eugenia selloi* (—): *in natura*, água, etanol/água e metanol/água para determinar o melhor sistema extrator para as próximas análises.



Fonte: Autor, 2025.

A solução composta por metanol/água foi o sistema extrator que apresentou os maiores valores do índice eletroquímico (IE) entre os sistemas avaliados, indicando sua elevada eficiência na extração de compostos eletroativos. Os valores do IE obtidos foram de 48,11 $\mu\text{A/V}$ para *Eugenia uniflora* roxa(EUR), 23,83 $\mu\text{A/V}$ para a *Eugenia uniflora* vermelha(EUV) e 14,99 $\mu\text{A/V}$ para a *Eugenia selloi*. Esses resultados indicam a variedade roxa de *E. uniflora* possui a maior atividade antioxidante entre todas as espécies e variedades analisadas. Estudos reportados na literatura destacam que o metanol juntamente com a água são amplamente utilizados para a extração de compostos fenólicos. Considerando que os derivados fenólicos são geralmente polares, os solventes próticos polares são mais efetivos na extração destes. O uso isolado de um solvente pode extrair uma quantidade de compostos fenólicos inferior quando dois ou mais solventes são combinados durante a extração, visto que o papel em relação a interações de polaridades solvente-solvente em competição pela solvatação do soluto e que o uso misto de solventes depende intimamente da matriz alimentícia para que se extraia quantitativos superiores (GarciaSalas et al., 2010; Shafique et al.,2013; Alcântara et al.,2019).

Assim, álcoois alifáticos (por exemplo, metanol e etanol) e solventes orgânicos polares (por exemplo, acetona, acetato de etila) são as opções mais empregadas para extrair fenólicos de subprodutos vegetais. Já para os fenólicos mais polares, como os ácidos benzóico, cinâmico e antocianinas, que podem não ser totalmente solúveis em solventes orgânicos, misturas com diferentes proporções de água são utilizadas como metanol/água ou etanol/água em diferentes concentrações para conseguir extrair fenóis com maior rendimento e maior variedade de compostos (Galanakis et al., 2010; Gil-Martin et al., 2022).

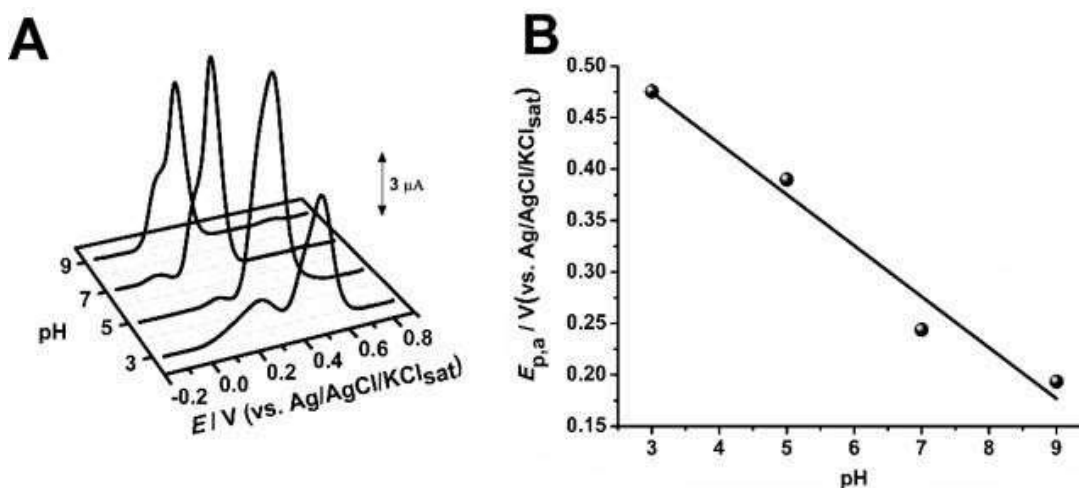
Deste modo, o sistema extrator selecionado para a realização dos experimentos posteriores foi aquele constituído por metanol/água 50:50 (v/v).

5.1. Caracterização eletroanalítica das variedades de *Eugenia uniflora*

Foi possível observar na Figura 8A, a análise do eletrólito suporte na faixa de pH entre 3,0 a 9,0 com o conjunto de amostras (pool). O pH 5,0 e 7,0 apresentaram melhores resoluções para os voltamogramas com picos de corrente maiores para todos os extratos aqui estudados, tal comportamento pode estar associado há uma

melhor solubilidade dos compostos eletroativos nessa faixa de pH, bem como há uma melhor cinética de transferência eletrônica com coparticipação de prótons (Gil e Couto, 2012; Moreno et al., 2022).

Figura 8: Estudo da influência do pH no comportamento eletroquímico dos voltamogramas obtidos para um pool das amostras de cada variedade de pitanga e pitangatuba (A). Equação da reta E_{pa} x pH (B).



Fonte: autor

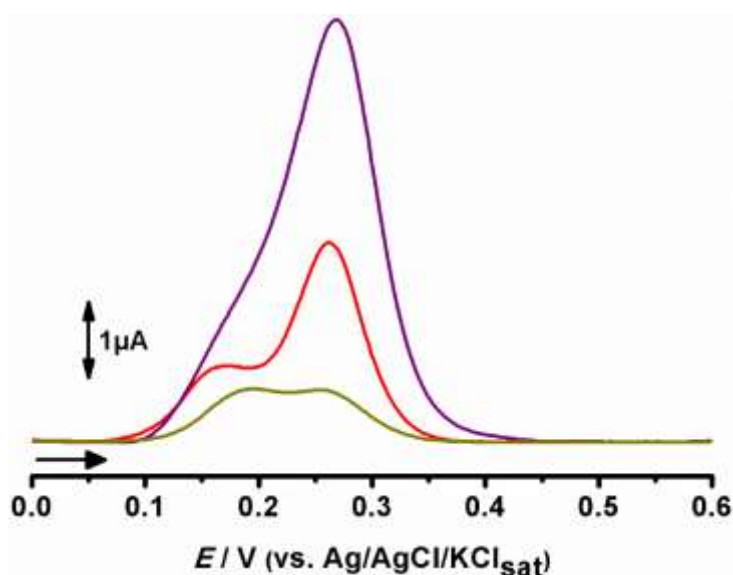
Por sua vez, a inclinação foi próxima de 59 mV x unidade de pH para curva apresentada na Figura 8B, mostra que predominam espécies eletroativas, cuja participação de prótons e elétrons no processo redox é equitativa de 1:1. Comportamento este típico para oxidação de compostos fenólicos (Gil & Couto, 2013).

Considerando que o papel nutricionalmente efetivo dos antioxidantes, se dá em pH fisiológico, o pH 7,0 foi escolhido para os demais experimentos. A figura 9 apresenta os voltamogramas (DPV) para diferentes espécies de pitangas e pitangatuba investigadas.

Os potenciais de pico, E_{pa1} , oscilaram entre 0,18 a 0,26 V para todas as variedades, que em pH neutro são compatíveis com o esperado para compostos fenólicos, *catecol like*, ou seja orto di-substituídos com duas hidroxilas. A partir dos picos de corrente, I_{pa1} , correspondentes, foram calculados o índice eletroquímico para cada variedade. Ressalta-se que os potenciais expressam aspectos termodinâmicos relativos a força redutora das espécies químicas eletroativas presentes em cada

extrato de cada variedade de pitanga. Já os níveis de corrente expressam a quantidade global destes compostos eletroativos, como também fatores cinéticos, ou seja a velocidade em que cada composto transfere seus elétrons (Lino & Gil, 2013). A Figura 9 abaixo apresentada, evidencia níveis de corrente para as variedades de pitanga roxa, seguida pela vermelha e amarela (pitangatuba).

Figura 9 – Voltamogramas obtidos por DPV para *Eugenia uniflora* Roxa (—), *Eugenia uniflora* Vermelha (—), *Eugenia selloi* (—) em Tampão Fosfato 0,1M, pH 7,0.

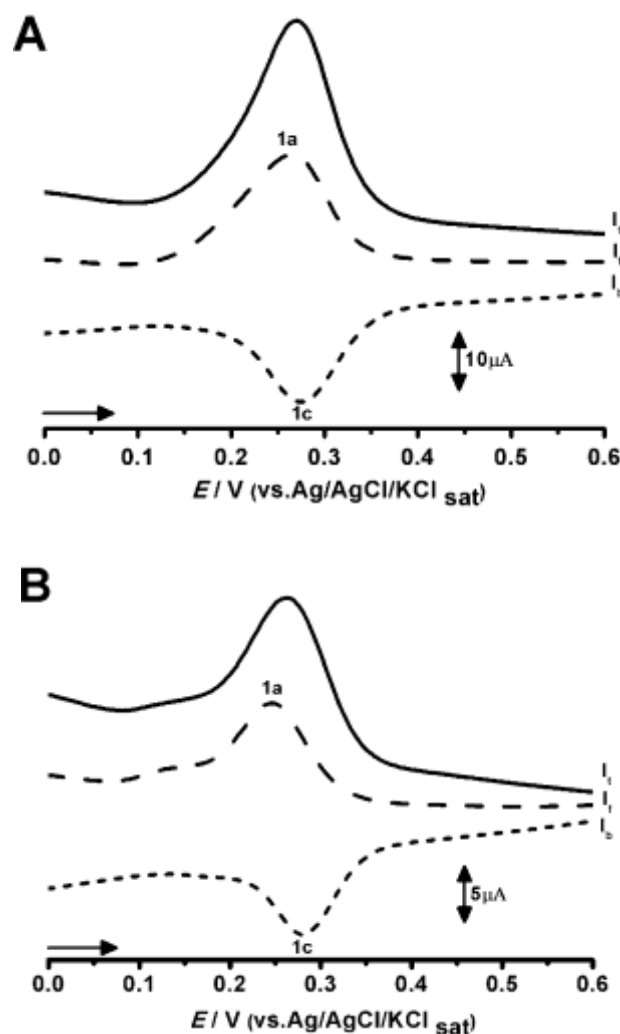


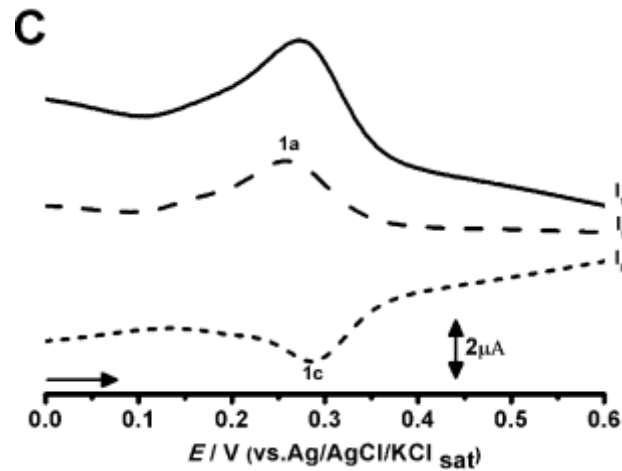
Fonte: Autor

Como os valores de I_{pa} indicam a quantidade de espécies eletroativas presentes nas amostras, pode-se deduzir que a pitanga roxa possui a maior concentração de antioxidantes dentre as variedades de *Eugenia* analisadas, seguida da pitanga vermelha. Valores mais elevados de I_{pa} indicam o conteúdo antioxidante, enquanto valores mais baixos de E_{pa} refletem no caráter doador de elétrons e no poder redutor das espécies presentes na amostra. Os picos apresentaram perfis semelhantes a poderosos antioxidantes, tais como os compostos fenólicos: ácido gálico, catecol, ácido elágico e catequina (Batista et al., 2021). Outra característica desejada aos antioxidantes naturais é a reversibilidade com que o mesmo possa sofrer processo redox, ou seja, doar elétrons para neutralização de um radical e depois em um meio mais ácido e redutor retornar ao estado neutro. Este comportamento pode ser melhor avaliado por SWV, um técnica rápida e de maior sensibilidade. Características estas que repercutem de forma geral em menor bloqueio do eletrodo, já que, sendo mais

sensível pode-se trabalhar com menores concentrações, e sendo mais rápida, menor é o tempo para que haja eletro adsorção com passivação do eletrodo, durante oxidação eletroquímica. O modo de aplicação de pulso desta técnica permite a detecção anódica e catódica simultânea de processos. Os resultados da SWV obtidos para as variedades alvos, é apresentado na Figura 10, mostrando um processo anódico claramente reversível, onde as correntes catódicas e anódicas são semelhantes ($i_a/i_c=1$). Este comportamento, assim como valores de E_{pa} em pH 7,0, e inclinação da curva figura 10B, corroboram para presença de compostos *catecol like* (Lino & Gil, 2013; Macedo et al., 2017).

Figura 10: Voltamogramas obtidos por SWV para *Eugenia uniflora* Roxa (A), *Eugenia uniflora* Vermelha (B), *Eugenia selloi* (C) em Tampão Fostato 0,1M, pH 7,0.

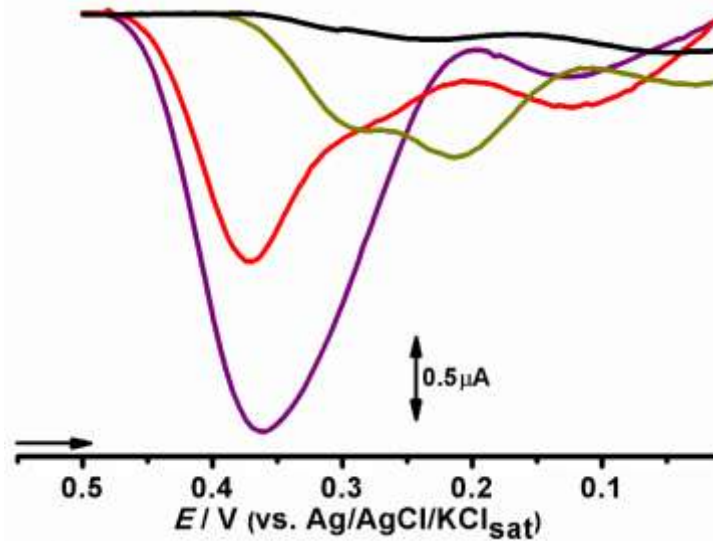




Fonte: autor

Após a confirmação da reversibilidade do pico das amostras de *Eugenia* pela SWV foram realizados testes com o biossensor enzimático de *Cordia superba* a fim de otimizar a identificação dos compostos bioativos e melhorar a resolução dos picos catódicos dos ensaios com o extrato de *Eugenia uniflora L.* e *Eugenia selloi* (Figura 11 e Tabela 1).

Figura 11 - Voltamogramas obtidos por DPV para *Eugenia uniflora* Roxa (—), *Eugenia uniflora* Vermelha (—), *Eugenia selloi* (—) em Tampão Fosfato 0,1M, pH 7,0, com o biossensor enzimático de *Cordia superba*.



Fonte: Autor

Foi possível observar que a *E. uniflora* roxa e vermelha e a *E. selloi* apresentaram aumento significativo na presença do eletrodo modificado com o biossensor enzimático de *C. superba*, que pôde ser observado tanto pelo voltograma

Figura 11 como pela tabela 1, provavelmente o sítio ativo enzimático teve maior seletividade para os compostos majoritários com comportamento eletroativo corroborando com os resultados dos picos anódicos observados nas figuras 9 e 10 (Batista et al., 2022).

Tabela 1. Fenóis totais em amostras de pitangas usando eletrodo modificado com pasta de carbono, onde têm-se as eugênicas: *E. uniflora* Roxa (EUR), *E. uniflora* Vermelha (EUV) e *E. Selloi* (ES).

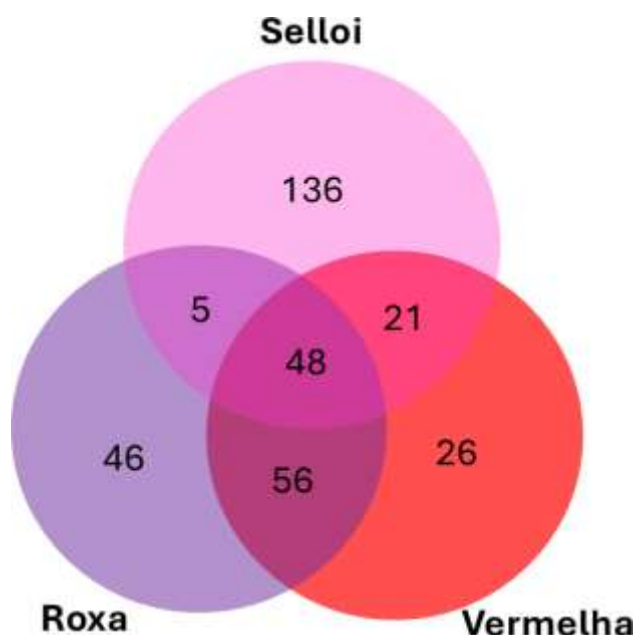
Amostra	Eletrodos com pasta de carbono (μA)	SD	Eletrodos modificados com biosensor(μA)	SD	Aumento de sinal (Sinal Biosensor/Sinal Com pasta de carbono)	Aumento de sinal (%)
EUR	-1.3205	0.049	-2.3265	0.099	1.75	176,18
EUV	- 0.43673	0.051	-1.42916	0.055	3.27	327.24
ES	- 0.3771	0.029	-0.8273	0.006	2.19	219.38

5.2. Análises da composição química por Espectrometria de Massas

O perfil metabólico dos frutos de *Eugenia uniflora* (roxa e vermelha) e da *Eugenia selloi* foi obtido a partir dos dados espectrais adquiridos por espectrometria de massas de ultra-alta resolução (UHR-MS) usando ionização electrospray em modo positivo de ionização (ESI (+) Orbitrap MS), cujos resultados foram considerados íons detectados com intensidade absoluta em 3E8.

No estudo sobre a composição metabólica das espécies *Eugenia uniflora* roxa, *Eugenia uniflora* vermelha e *Eugenia selloi*, foram identificados e comparados os íons presentes em cada uma dessas espécies através do diagrama de Venn (Figura 12). Adicionalmente, através dos gráficos de *Beeswarm plot* e *Ridgeline chart* foi possível avaliar a variação metabólica em função do peso molecular dos metabólitos presentes em cada espécie.

Figura 12. Diagrama de Venn das espécies de *Eugenia uniflora* roxa e vermelha e *Eugenia selloi*.

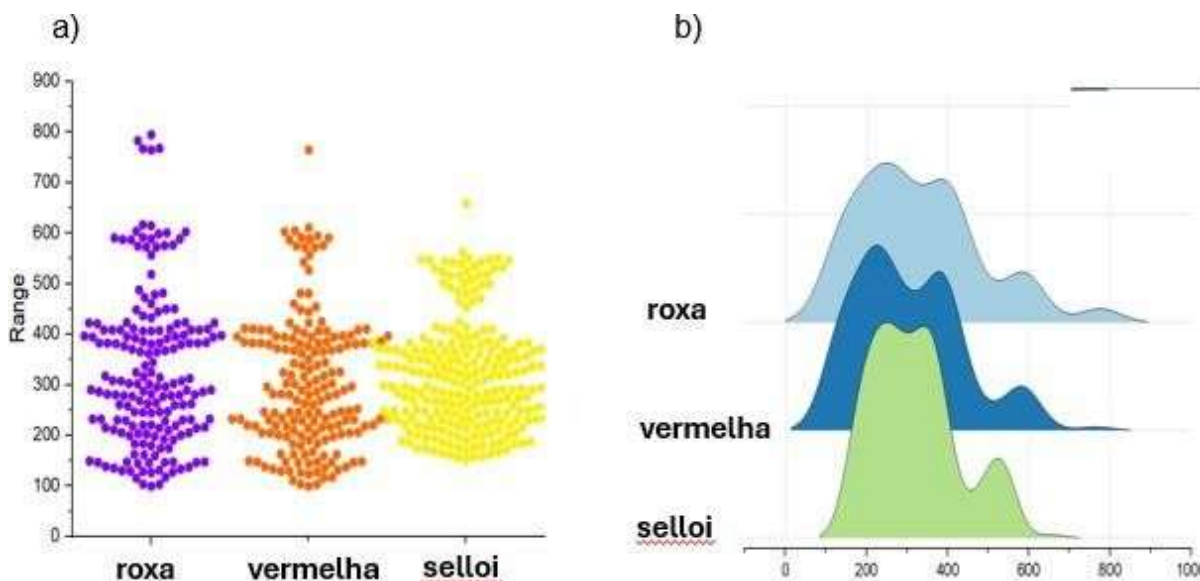


Fonte: Autor

A análise das três espécies de *Eugenia* revela perfis químicos distintos. O Diagrama de Venn mostra que *Eugenia selloi* possui 136 íons únicos e compartilha poucos íons com as outras espécies, destacando-se por um metaboloma diferenciado. Em contrapartida, *Eugenia roxa* e *Eugenia vermelha* compartilham mais íons entre si, entretanto, ainda mantêm compostos exclusivos. As três espécies compartilham 48 íons, apontando para um núcleo comum de compostos, que pode ter funções conservadas.

No gráfico de Beeswarm plot (a), observa-se que *Eugenia roxa* e *Eugenia vermelha* têm compostos de até 800 Da, enquanto *Eugenia selloi* apresenta predominantemente compostos de menor massa, entre 150 e 550 Da. O gráfico de Ridgeline chart (b) reforça essas diferenças, indicando que *Eugenia selloi* tem um perfil mais simples com compostos de menor peso molecular. Essas variações sugerem adaptações metabólicas específicas entre as espécies, com potenciais implicações para aplicações bioativas. Conforme pode ser observado na Figura 13.

Figura 13. Gráficos de Beeswarm plot (a) e Ridgeline chart (b) das espécies de *Eugenia uniflora* roxa, vermelha e *E. selloi*.



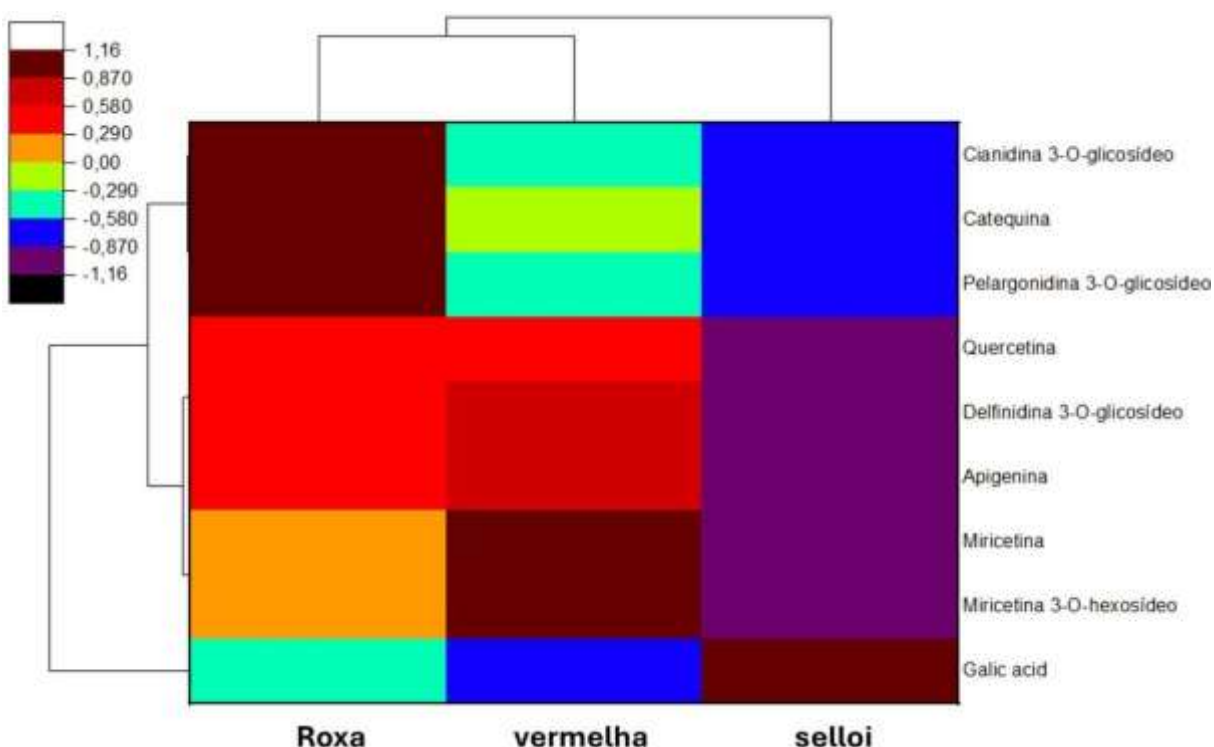
Fonte: Autor

A análise das três espécies por ESI (+) Orbitrap MS, representadas pelas amostras *Eugenia uniflora* roxa, *Eugenia uniflora* vermelha e *Eugenia selloi*, revela uma variação marcante na abundância de compostos fenólicos, indicando perfis metabólicos distintos. Esse perfil diferencial entre as espécies é um reflexo da diversidade no metaboloma, sugerindo adaptações específicas e potenciais funcionalidades biológicas exclusivas. Na amostra de *Eugenia* roxa, observa-se uma predominância expressiva de Cianidina 3-O-glicosídeo, um composto da classe das antocianinas, o que sugere que esta espécie possui um alto conteúdo de pigmentos responsáveis por cores vibrantes, com possível ação antioxidante robusta. Além disso, compostos como Catequina e Pelargonidina 3-O-glicosídeo também aparecem em quantidades elevadas nesta amostra, corroborando um perfil rico em compostos com atividade antioxidante e anti-inflamatória.

Por outro lado, a amostra de *Eugenia* vermelha apresenta quantidades consideráveis de Cianidina 3-O-glicosídeo, semelhante ao observado em *Eugenia* roxa, porém, em concentrações mais moderadas. Este perfil sugere que a *Eugenia* roxa possui um metaboloma que, embora também contenha antocianinas e catequinas, se diferencia em relação a *Eugenia* roxa, indicando uma composição fenólica potencialmente adaptada para funções específicas na espécie. Outros

compostos como Miricetina 3-O-hexosídeo e Delfinidina 3-O-glicosídeo também apresentam altos níveis, sinalizando um perfil variado de flavonoides. Conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14. Gráficos de mapa de calor exibindo a abundância relativa dos metabólitos encontrados a partir dos dados espectrais obtidos por ESI (+) Orbitrap MS das espécies de *Eugenia* roxa, vermelha e selloi.



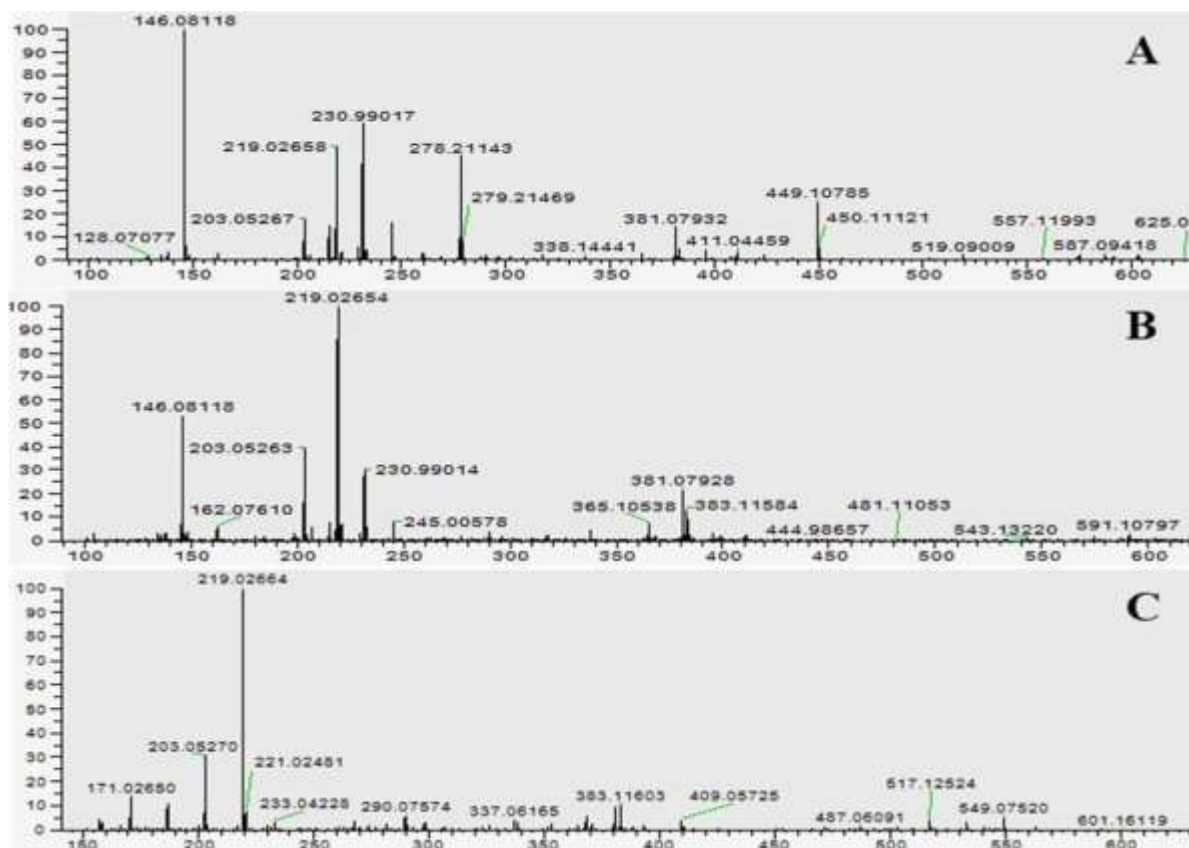
Fonte: autor

A amostra de *Eugenia selloi* apresenta um perfil notavelmente distinto das demais. O ácido gálico aparece em uma abundância extremamente elevada em comparação com outros compostos e outras amostras, indicando que esta espécie pode ter uma capacidade acentuada de acumular ácidos fenólicos. Entretanto, a maioria dos outros compostos fenólicos está presente em quantidades substancialmente menores em *Eugenia selloi*, o que sugere um metaboloma mais simplificado ou específico para essa classe de compostos.

Na figura 15, é possível identificar os marcadores químicos das amostras de *Eugénias*, sendo que na EUR é o composto Cianidina 3-O-glicosídeo de m/z 449.10

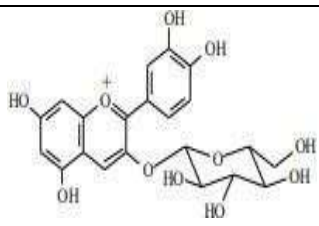
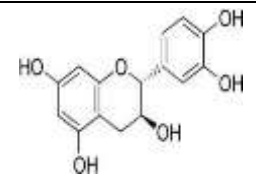
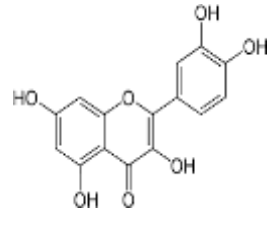
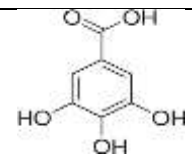
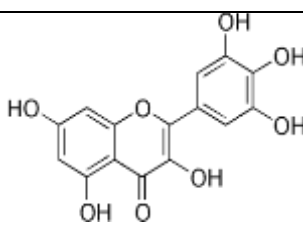
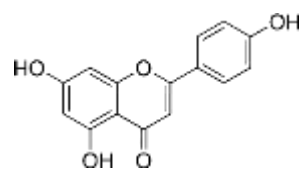
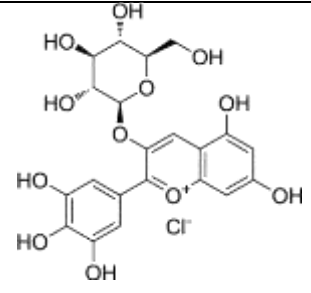
[M+H] (Santos et al., 2021), na EUV é o composto é a mirecetina 481.11 [M+H] (Sobeh et al., 2020) e na ES é o ácido gálico m/z 171.02[M+H], (Barreira et al., 2024)

Figura 15. Espectro de massa obtido pela análise ESI(+)-MS de *Eugenia uniflora* roxa (A), *Eugenia uniflora* vermelha (B) e *Eugenia selloi* (C) usando um espectrômetro de massa Q-TOF.



A Tabela 2 apresenta os metabólitos encontrados nos extratos das pitangas *Eugenia uniflora* e *selloi*.

Tabela 2. Metabólitos presentes em amostras de pitangas (*Eugenia uniflora* e *selloi*) com propriedade antioxidante.

Modo íon	m/z	Fórmula empírica	Composto nome	Estrutura química	Referências
ESI(+) MS	449.10	C ₂₁ H ₂₁ ClO ₁₁	Cianidina 3-glicosídeo		(Santos et al., 2021)
ESI(+) MS	291.08	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	Catequina		(Barreira, 2024)
ESI(+) MS	303.04	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	Quercetina		(Barreira, 2024)
ESI(+) MS	171.02	C ₇ H ₆ O ₅	Ácido gálico		(Barreira, 2024)
ESI(+) MS	319.03	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	Miricetina		(Fidelis, 2022)
ESI(+) MS	271.05	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	Apigenina		(Sobeh et al., 2020)
ESI(+) MS	501.07	C ₂₁ H ₂₁ ClO ₁₂	Delfinidina 3-glicosídeo		(Barreira, 2024)

O alto conteúdo de antocianinas e flavonoides em *Eugenia roxa* e *Eugenia vermelha*, contrastando com a predominância de ácidos fenólicos em *Eugenia selloi*, indica que essas espécies podem oferecer diferentes benefícios funcionais e adaptativos, refletindo a riqueza do metaboloma das três espécies analisadas.

5.3 Avaliação da atividade vasorrelaxante

A figura 16, representa a atividade vasorrelaxante de amostras de (A) *Eugenia uniflora* vermelha e (B) *Eugenia uniflora* roxa em aortas de ratos com endotélio intacto pré-contraídas com fenilefrina (0,1 μ M) na ausência ou presença (30 min) do inibidor da tímidade de óxido nítrico L-NAME (100 μ M). Os pontos com os dados representam a média \pm SEM (n=5-6) do efeito relaxante expresso em porcentagem. Diferença significativa *P<0,001.

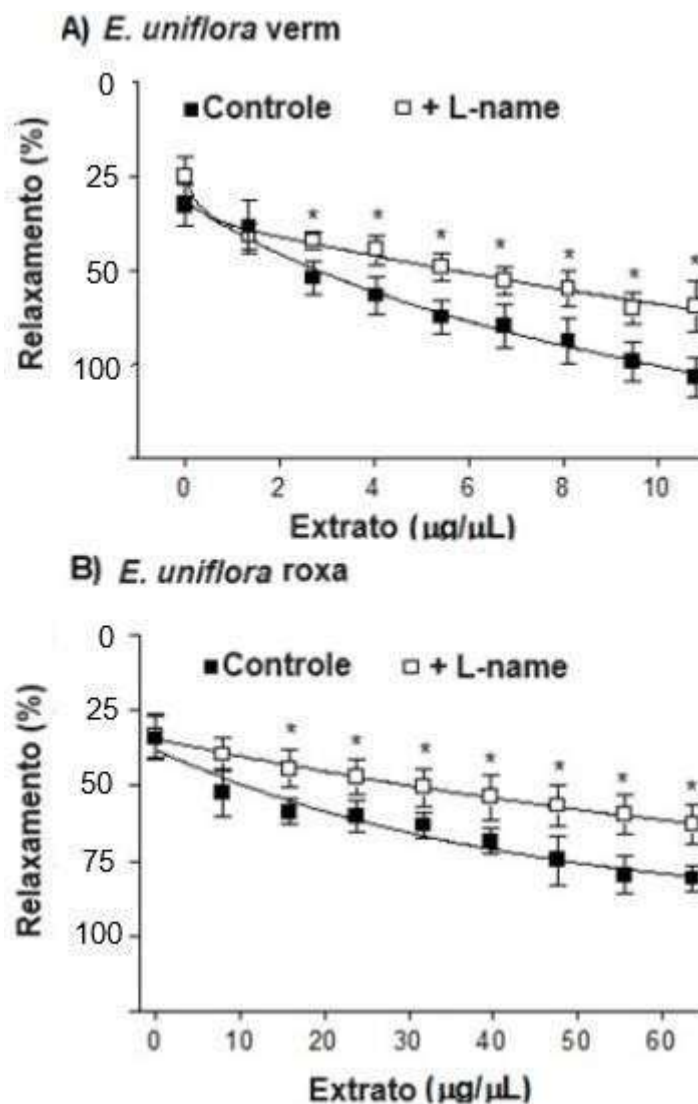
As curvas concentração-efeito obtidas para os extratos de *Eugenia uniflora* sp. demonstraram que o relaxamento vascular induzido foi significativamente atenuado na presença do inibidor da óxido nítrico sintase (L-NAME), evidenciando o envolvimento da via do NO na resposta vasorrelaxante.

Para o extrato da variedade vermelha de *E. uniflora*, observou-se uma redução mais acentuada na tensão vascular, atingindo 1,69 g na concentração máxima de 10,82 μ g/ μ L. No entanto, na presença de L-NAME, esse efeito foi significativamente inibido, com a tensão final se mantendo em 3,41 g, sugerindo menor capacidade de relaxamento.

De forma semelhante, o extrato da variedade roxa promoveu uma redução da tensão para 1,77 g na concentração máxima de 63,56 μ g/ μ L, enquanto na presença de L-NAME o relaxamento foi parcialmente revertido, com a tensão final atingindo 2,51 g.

Esses achados indicam que a ação vasorrelaxante promovida por ambas as variedades de *E. uniflora* sp. é parcialmente dependente da integridade do endotélio e da produção de NO. A inibição da enzima óxido nítrico sintase reduziu significativamente a eficácia do extrato, o que corrobora a hipótese de que a ativação da via NO é um dos mecanismos envolvidos na mediação desse efeito farmacológico.

Figura 16. Atividade vasorrelaxante de amostras de (A) *Eugenia uniflora* vermelha e (B) *Eugenia uniflora* roxa em aortas de ratos

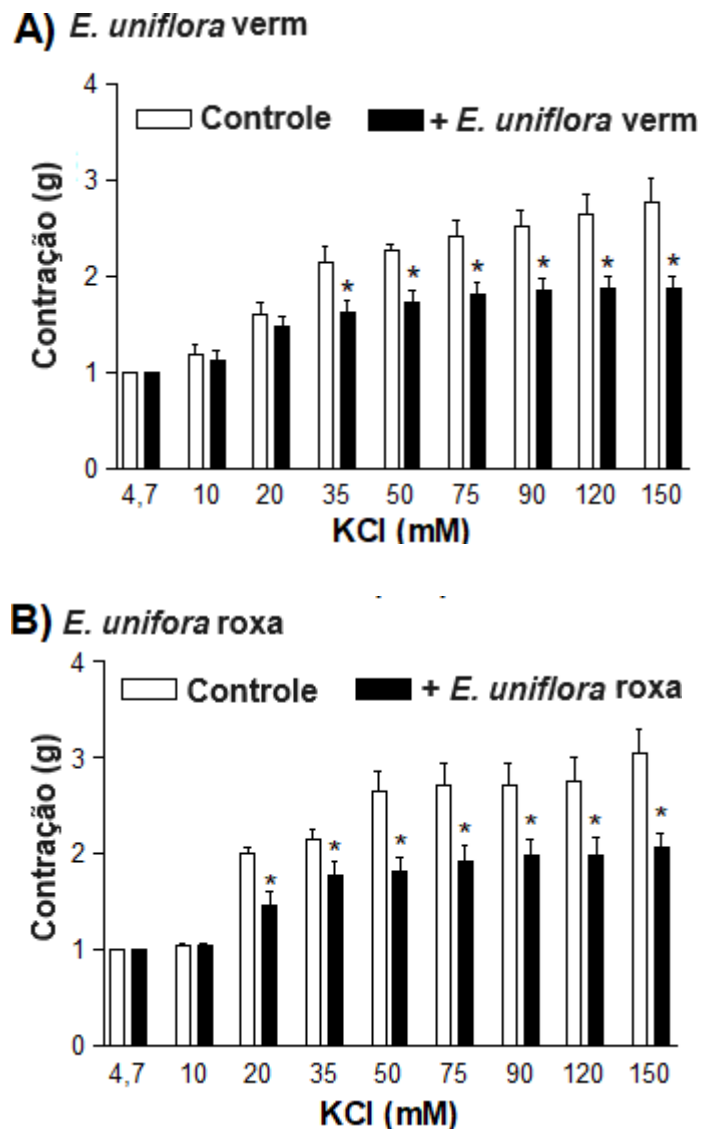


Fonte: autor

De acordo com a figura 17 as amostras de pitangas vermelhas induzem um efeito vasodilatador em artérias isoladas mais potente que a roxa. Os extratos das pitangas causaram relaxamento em artérias isoladas com endotélio funcional, mostrando uma dependência significativa das células endoteliais sobre os efeitos vasculares do extrato nas concentrações testadas.

A pitanga vermelha apresenta uma abundância maior de quercetina e catequina que segundo estudos possui melhor atividade vasorelaxante. Trabalhos mais recentes usando animais e humanos hipertensos (> 140 mm Hg sistólica e > 90 mm Hg diastólica) indicam uma diminuição na pressão arterial após a suplementação de quercetina. As catequinas apresentam ação farmacológica benéficas em doenças cardiovasculares como a hipertensão (Deka, 2011; Carvalho et al., 2021).

Figura 17. Contração vascular induzida por KCl (0-150 μ M) em aortas de ratos com endotélio intacto. A) Curva para KCl com 300 μ L de *Eugenia uniflora* vermelha = 8.121 μ g/ μ L e B) Curva para KCl com 300 μ L de *Eugenia uniflora* roxa = 47.67 μ g/ μ L.



Fonte: autor

Em vários estudos o licopeno que é o principal carotenoide encontrado na pitanga vermelha possui efeitos cardioprotetores. Os efeitos cardiovasculares protetores do licopeno podem ser explicados por vários mecanismos que incluem melhora do perfil metabólico (metabolismo lipídico e glicídico), comunicação intercelular e rigidez arterial, reduções significativas dos níveis de resposta inflamatória, marcadores de estresse oxidativo e peroxidação lipídica, bem como efeitos antiateroscleróticos, antiplaquetários, antiapoptóticos, antioxidantes, anti-hipertensivos e efeitos endoteliais protetores (biodisponibilidade do óxido nítrico e fluxo sanguíneo) (Vallverdú-Queralt et al., 2015; Silva et al., 2022).

Efeito de *E. uniflora* sp nas contrações induzidas pelo influxo de Ca^{2+} . Em termos da contração externa induzida por Ca^{2+} estimulada por KCl, a pré-incubação com *E. uniflora* vermelha reduziu a contração das artérias (valores de efeito máximo), iniciando na concentração de 35 mM de KCl para *E. uniflora* vermelha e de 20 mM de KCl para *E. uniflora* roxa. De acordo com a Figura 17 a pitanga roxa foi mais potente que a pitanga vermelha na contração.

Para investigar a interferência dos extratos de *E. uniflora* sp. na entrada de cálcio extracelular, foram avaliadas as contrações das artérias induzidas por KCl em solução de Krebs. O KCl promove a despolarização da membrana das células musculares lisas vasculares, ativando os canais de cálcio do tipo L e permitindo o influxo de Ca^{2+} , resultando em contração.

Os experimentos demonstraram que a pré-incubação com o extrato de *E. uniflora* vermelha atenuou significativamente as contrações induzidas por Ca^{2+} extracelular em artérias previamente contraídas por KCl. A inibição da contração foi observada a partir de 35 mM de KCl para *E. uniflora* vermelha. Já para a variedade roxa, essa atenuação foi evidenciada a partir de 20 mM de KCl.

De acordo com a Figura 17, o extrato da variedade roxa demonstrou maior potência inibitória sobre as contrações induzidas por Ca^{2+} quando comparado ao da variedade vermelha. Essa diferença sugere que os compostos presentes no extrato roxo podem ter maior afinidade ou eficácia na modulação dos canais de cálcio, inibindo o influxo de Ca^{2+} de forma mais eficiente.

Esses achados reforçam a hipótese de que os extratos de *E. uniflora* atuam, ao menos em parte, por meio da inibição dos canais de cálcio do tipo L, o que contribui para o efeito vasorrelaxante previamente observado.

As *Eugénias uniflora* vermelha e roxa apresentam variações nas composições químicas que podem refletir nas propriedades biológicas distintas entre as duas espécies. Este é o primeiro estudo relacionado a polpa e a casca dos frutos de pitanga e seus efeitos hipotensores, estudos anteriores só tinham usado as folhas para avaliar essa atividade.

6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

6.1 Conclusão

Os resultados deste estudo confirmaram o elevado potencial antioxidante dos frutos de *Eugenia uniflora* L. (pitanga) e *Eugenia selloi* (pitangatuba), avaliados por meio de metodologias eletroquímicas. As análises demonstraram que os extratos obtidos com soluções hidrometanólica e tampão fosfato apresentaram eficiência na extração de compostos fenólicos, as técnicas eletroquímicas DPV e SWV mostraram-se adequadas para a caracterização do potencial antioxidante.

Os picos anódicos observados em $E_{pa}=0,26V$ para as pitangas vermelha e roxa e $E_{pa}=0,18$ a $0,26$ para a pitangatuba, indicaram a presença de compostos polifenólicos compatível com ácido gálico, corroborando com os resultados obtidos por espectrofotometria e evidenciando a robustez das metodologias utilizadas. Além disso, o uso do biossensor baseado na enzima polifenase de *Cordia superba* representou uma inovação significativa, melhorando a sensibilidade das análises e reforçando o papel dos métodos eletroquímicos como ferramentas complementares nos estudos de compostos bioativos.

Os compostos majoritários identificados por espectrometria de massas, como cianidina 3-O-glicosídeo na pitanga roxa, miricetina 3-O-hexosídeo e delphinidina 3-O-glicosídeo na pitanga vermelha, e ácido gálico na pitangatuba, são reconhecidos por suas propriedades antioxidantes. Notavelmente, a pitanga roxa apresentou maior capacidade antioxidante quando comparada à pitanga vermelha e à pitangatuba. Os testes farmacológicos revelaram a ação vasorrelaxante das polpas e cascas de *Eugenia uniflora*, com destaque para a indução da produção de óxido nítrico pelas células endoteliais e a redução da lesão oxidativa causada pelo KCl. Esses achados ampliam o conhecimento sobre as propriedades funcionais das Eugénias, destacando seu potencial como alimentos funcionais e agentes terapêuticos. Por fim, este trabalho inova ao explorar a aplicação de biossensores eletroquímicos no estudo do potencial antioxidante e vasorrelaxante de frutos nativos brasileiros, trazendo contribuições significativas para o campo da pesquisa em alimentos funcionais e farmacologia de produtos naturais.

6.2 Perspectivas

A perspectiva é a comparação de análises espectrométricas convencionais como ABTS e Folin Ciocautu com a eletroquímica e posteriormente análises mais aprofundadas nos testes farmacológicos para melhor compreensão dos mecanismos de ação que as pintangas promovem nos vasos sanguíneos.

REFERÊNCIAS

ADEBAJO, A. C.; OLOKI, K. J.; ALADESANMI, A. Antimicrobial activity of the leaf extract of *Eugenia uniflora*. **Journal of Phytotherapy Resource**, vol. 3, n. 6, p. 258-259, 1989.

ALIZADEH, L. et al. **Recent advances in electrochemical evaluation of natural antioxidants in food matrices**. *Food Chemistry*, v. 387, p. 132913, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39340911/>. Acesso em: 01 nov. 2024.

ALMEIDA, L. C.; CORREIA, R. D.; SQUILLACI, G.; et al. Electrochemical deposition of bio-inspired laccase-polydopamine films for phenolic sensors. **Electrochimica Acta**, v. 319, p. 462–471, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.06.180>. Acesso em: out./2024.

ALVES, E. S.; TRESMONDI, F.; LONGUI, E. L. Análise estrutural de folhas de *Eugenia Uniflora* L. (Myrtaceae), coletadas em ambientes rurais e urbanos. **Acta Botânica brasileira**, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/kGx96NWBBYbPhtT7Kn78kvp/>. Acesso em: Dez./2024.

ANDREI, V.; SHARPE, E.; VASILESCU, A.; ANDREESCU, S. A single use electrochemical sensor based on biomimetic nanocerium for the detection of wine antioxidants. **Talanta**, vol. 156–157, p. 112–118, 2016. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2016.04.067>. Acesso em: out./2024.

ANDRÉS, C. M. C.; LASTRA, J. M. P. de la; JUAN, C. A.; PLOU, F. J.; PÉREZ-LEBEÑA, E. From reactive species to disease development: Effect of oxidants and antioxidants on the cellular biomarkers. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, vol. 37, 11, e23455. 2023.

ANTONELO, F. A.; CRUZ, L. C.; SOARES, M. R.; PAGNONCELLI, M. G. Bioactive compounds derived from Brazilian Myrtaceae species: Chemical composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities. *Journal of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 48, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/biocatalysis-and-agricultural-biotechnology>. Acesso em: jun./2024.

ARAÚJO, G. B.; AQUINO, L. S, de. Avaliação da casca do fruto e do caule do mandacaru como fontes de compostos fenólicos totais antioxidantes através da obtenção de extratos pelas técnicas de maceração e ultrassom. *Scientia Plena*, vol. 16, n. 9, 2020.

ARAÚJO, V. F.; PEREIRA, E. dos S.; RIBEIRO, J. A.; RAPHAELLI, C. de O; CAMARGO, T. M.; VIZOTTO, M. Frutas Nativas Vermelhas e Amarelas: a diversidade e suas propriedades funcionais. **Revista Congrega-Urcamp**, vol. 1, p. 1, 2017.

AUGUSTO, G.; RAMOS, E. R. M.; SCHIMITT; MAZUR, C. E. "Suplementação de vitaminas antioxidantes em pacientes geriátricos: uma revisão narrativa." In. **Ciências da Saúde: desafios, perspectivas e possibilidades**. vol. 4 (2022): 265-273.

AURICCHIO, M. T. et al. Plantas medicinais de uso popular no Brasil. São Paulo: Editora Plantarium, 2007.

BACCHETTI, T.; TURCO, I.; URBANO, A.; MORRESI, C.; FERRETI, G. Fruit and vegetable intake and its relationship to dietary antioxidant capacity and markers of oxidative stress. A gender-related study, **Nutrition**, v. 61, pp. 164– 172, 2018. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Relationship-of-fruit-and-vegetable-intake-to-and-A-Bacchetti-Turco/79b3d53dd852285a1b471a1aa3cedacc91c83fb9>. Acesso em: set./2023.

BAGATINI, L.; ZANDONÁ, G. P.; HOFFMANN, J. F.; CARDOSO, J. de S.; TEIXEIRA, F. C.; MORONI, L. S.; JUNGES, A.; KEMPKA, A. P.; STEFANELLO, F. M.; ROMBALDI, C. V.. Evaluation of Eugenia uniflora L. leaf extracts obtained by pressurized liquid extraction: Identification of chemical composition, antioxidant, antibacterial, and allelopathic activity. **Journal of Sustainable Chemistry and Pharmacy**, vol. 35, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554123002486>. Acesso em: jun./2024.

BAGETTI, M.; FACCO, E. M. P.; PICCOLO, J.; HIRSCH, G. E.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.; KOBORI, C. N.; VIZZOTTO, M.; EMANUELLI, T. Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (Eugenia uniflora L.): Caracterização físico-química e capacidade antioxidante de pitangas (Eugenia uniflora L.). **Food Science and Technology**. Campinas, March 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262446786>. Acesso em: set./2023.

BARREIRA, RQ .Composição físico-química, perfil fenólico e atividade antioxidante de pitanga (Eugenia Uniflora L.) de cor alaranjada e roxa- riut.utfrpr.edu.br, 2024.

BATISTA, E. A.; PEREIRA, M. O. A.; MACÊDO, I. Y. L.; MACHADO, F. B.; MORENO, E. K. G.; DINIZ, E. P.; FRAZZÃO, I. G. V.; BERNARDES, L. S. C.; OLIVEIRA, S. C. B.; GIL, E. S. Electroanalytical Enzyme Biosensor Based on Cordia superba Enzyme Extract for the Detection of Phytomarkers in Kombucha. *Journal of Biosensors*, março de 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33810105/>. Acesso em: mai. 2024.

BATISTA, É. A.; SILVA, G. N. M.; SGOBBI, L. F.; MACHADO, F. B.; MACÊDO, I.Y.L.; MORENO, E. K. G.; NETO, J.; SCALIZE, P. S.; GIL, E. S. 1Enzymatic Electroanalytical Biosensor Based on Maramiellus colocasiae Fungus for Detection of Phytomarkers in Infusions and Green Tea Kombucha. **Journal of Biosensors** 2021, vol. 11 (3), 91. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6374/11/3/91>. Acesso em: mai./2024.

BEZERRA, J. A.; BRITO, M. M. de. Nutricional and antioxidant potencial of unconventional food plants and their use in food: Review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 9, p. e369997159, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7159. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7159>. Acesso em: dez./2024.

BIAZOTTO, KR; Mesquita, LMS; Neves, BV; Braga, ARC; Tangerina, MMP; Vilegas, W.; Mercadante, AZ; Rosso. **Frutas da Biodiversidade Brasileira: Descobrendo Compostos Bioativos de Fontes Pouco Exploradas**. J. Agric. Food Chem. 2019, 67 (7), 1860-1876. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05815>. Acesso em Jan./2025.

BIRBEN, E.; SAHINER, U. M.; SACKESEN, C.; ERZURUM, S.; KALAYCI, O. Oxidative stress and antioxidant defense. **World Allergy Organization Journal**, v. 5, n. 1, p. 9-19, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23268465/>. Acesso em Jan./2025.

BORGES, J.; SATURNINO, K.; CRUZ, V.; ARAÚJO, E. Ação antioxidante da curcumina (curcuma longa L.) na injúria de isquemia e reperfusão tecidual. **Enciclopédia Biosfera**, **16(29)**, 2019.

BRASIL, A. RDC Nº 166, DE 24 DE JULHO DE 2017. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, p. 1–12, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade e Biomas. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas>. Acesso em: 2 ago. 2025.

CARVALHO JUNIOR, A. R. de; GOMES, G. A.; FERREIRA, R. O.; CARVALHO, M. G. de.. Constituintes químicos e atividade antioxidante de folhas e galhos de *Eugenia copacabanensis* Kiaersk (Myrtaceae). **Química Nova**, vol. 37, n. 3, p. 477–482, maio 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/LDhmf7kLbYJJNndFGnMLZJt/#>. Acesso em: 20 out. 2024.

CASTELLI, JSS - Extratos orgânicos das folhas de **Eugenia** involucrata DC e atividade antimicrobiana - repositório.utfpr.edu.br, 2022.

CATANIA, A. G.; BARROS, M. C.; FERREIRA, L. M. Vitaminas antioxidantes e estresse oxidativo: mecanismos e aplicações clínicas. Rio de Janeiro: MedLivro, 2009.

CONSOLINI, A. E.; SARUBBIO, M. Pharmacological effects of *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) aqueous extract on rat's heart. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 81, n. 1, p. 57-63, 2002.

COBOS, A.; DÍAZ, O. 'Superfoods': reliability of the information for consumers available on the Web. p. 1-24, 2023. doi: [10.3390/foods12030546](https://doi.org/10.3390/foods12030546).

DACOREGGIO, M. V.; SANTETTI, G.; INÁCIO, H.; HAAS, I. C. da S.; MONTEIRO, B. R. da S.; HOFF, W. R.; FREIRE, C. B. F.; KEMPKA, A. P.; AMBONI, R. D. de M. C. Exploring the effects of gastrointestinal digestion on phenolic profile and antioxidant activity: A new perspective on the biological potential of infusion of *Eugenia pyriformis* Cambessleaves, Measurement: Food. **Journal of Medição: Alimentos**, vol. 14, junho de 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772275924000340>>. Acesso em: fev./2024.

DINATT, R. F. et al. **Análise da importância de uma alimentação equilibrada para prevenir doenças associadas ao envelhecimento**. 2024.

ENACHE, T. A. et al. **Polyphenols and oxidative stress: mechanisms of action and implications for chronic disease prevention**. *Journal of Functional Foods*, v. 72, p. 104053, 2020. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8472599/#:~:text=Dietary%20polyphenols%20are%20>

[the%20secondary,AD%20and%20other%20neurodegenerative%20diseases](#). Acesso em: 17 dez. 2024.

FAN, Y. F.; GUO, Z. B.; GE, G. B. Enzyme-based biosensors and their applications. **Biosensors**, vol. 13, n. 4, p. 476, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6374/13/4/476> . Acesso em: Out./2024.

FERREIRA, M. A. R.; VICVERT, J. C.; SILVA, B. O. S. da; FERREIRA, I. C.; SOUZA;FREITAS, S. T. de. **Índice de seleção para a identificação de genótipos superiores de acerola destinados ao consumo in natura**. vol. 3, n. 10, p. 14-17, 2008.

FIDELIS, E. M.; SAVALL, A. S. P.; PEREIRA, F. de O.; QUINES, C. B.; ÁVILA, D. S.; PINTON, S. Pitanga (*Eugenia uniflora* L.) as a source of bioactive compounds for health benefits: A review. **Arabian Journal of Chemistry**, vol. 15, n. 4, p. 103691, 2022.

FREITAS, G.; LEMOS, R. C. A. S.; FRANÇA, A. C. B.; SANTOS, L.C.C. dos; LEÃO, S. M. L. M.; NOGUEIRA, T. R. Efeitos da suplementação de selênio sobre a defesa antioxidante na Doença Renal Crônica. **Research, Society and Development**, vol. 9, n. 5, p. e189953247-e189953247, 2020.

GAIOLA, L.; CARDOSO, C. A. L. *Eugenia uniflora* L.-uma espécie popular brasileira com potencial para desenvolvimento de produtos: uma revisão sistemática. **Fitoquímica: Potencialidades Biológicas Dos Biomas Brasileiros**, vol. 1, p. 83-98, 2022.

GIL, E.S.; Couto, R. O. Flavonoid electrochemistry: a review on the electroanalytical applications. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23(3): 542-558, May/Jun.2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/SJM8N8McFdMygGJMQGpMzgy/>. Acesso em: dez./2023.

HAMEISTER R., KAUR C., DHEEN S. T., LOHMANN C. H., SINGH G. Reactive oxygen/nitrogen species (ROS/RNS) and oxidative stress in arthroplasty. **J Biomed Mater Res B Appl Biomater**. 2020 Jul;108(5):2073-2087. doi: 10.1002/jbm.b.34546. Epub 2020 Jan 2.

HO et al., Electrospray ionisation mass spectrometry: principles and clinical applications. **Clinical Biochemist Reviews**, v. 24, p. 3-12, 2003.

HOFFMEISTER, J.; BLACK, G.; RAMPELOTTO, R. Impacto do estresse oxidativo nas doenças neurodegenerativas. **Revista de Ciências da Saúde - REVIVA**, v. 3, n. 2, 2024.

IUPAC. Biosensor. **Glossário para químicos de termos usados em biotecnologia (Recomendações da IUPAC 1992)**, v. 148, p. 2014, 1992.

JACOB, M. M. Biodiversidade de plantas alimentícias não convencionais em uma horta comunitária com fins educativos. **DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde**, [S. l.], v. 15, p. e44037, 2020. DOI: 10.12957/demetra.2020.44037. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/demetra/article/view/44037>. Acesso em: 20 out. 2024.

JESUS, E. N. S.; TAVARES, M. S.; BARROS, P. A. C.; MILLER, D. C.; DA SILVA, P. I. C.; FIGUEIREDO, P. Composição química e avaliação da atividade anti-inflamatória do óleo essencial de *Eugenia uniflora*, rico em Curzereno. **Anais do Simpósio de Plantas**

Medicinais do Brasil, [S. l.], 2023. Disponível em:
<https://resumos.sbpmed.org.br/index.php/spmb/article/view/191>. Acesso em: 12 out. 2024.

JESUS, E. N. S.; TAVARES, M.S.; BARROS, P.A.C.; MILLER, D.C.; SILVA, P.I.C. da; FREITAS, J.J.S.; LIMA, A.B. de; SETZER, W.N.; SILVA, J.K.T. da; FIGUEIREDO, P.L. Chemical composition, antinociceptive and anti-inflammatory activities of the curzerene type essential oil of *Eugenia uniflora* from Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, vol. 317, p. 116859, 2023.

JIA, L. et al. Functional components in fruits and their antioxidant potential: a review. *Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 64, p. 1–12, 2019. Disponível em :
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10052168/>. Acesso em : 14 dez. 2024.

KRAUS, S. I.; FERREIRA, J. B; RIBEIRO, J. A.; BONORINO, K. C.; WIPPEL, V.A.; ALBERTON, M. D.; SALGUEIRO, A. C. F.; SOARES, C.H.L.; SILVA, M.D. DA. Toxicological and pharmacological effects of *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae) leaves in mice, **Journal of Ethnopharmacology**, vol. 309, 2023. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: dez./2023.

KRINSKY, N. I.; JOHNSON, E. J. Carotenoid actions and their relation to health and disease. **Molecular Aspects of Medicine**, vol. 26, n. 6, p. 459-516, 2005.

KRIS-ETHERTON, P. M.; HECKER, K. D.; BONANOME, A.; COVAL, S. M.; BINKOSKI, A. E.; HILPERT, K. F.; GRIEL, A. E.; ETHERTON, T. D. Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, vol. 113, n. 9, p. 71- 88, 2002.

KUMAR, A.; GOEL, R. Micronutrients and antioxidant defense: roles of vitamins and minerals in cellular health. New Delhi: Academic Publications, 2019.

LAZARINI JG, *et al.* **Bioprospection of *Eugenia brasiliensis*, a Brazilian 41 native fruit, as a source of anti-inflammatory and antibiofilm compounds.** *Biomed Pharmacother.* 2018;102:132-139. doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.034. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29550636/>. Acesso em: 05 dez. 2024.

LAZZAROTO, M. et al. Comparação de métodos espectrofotométricos e voltamétricos na determinação de compostos fenólicos em frutas nativas. *Revista Brasileira de Bioquímica*, v. 38, n. 2, p. 115–123, 2020.

LEITE, A. F. S. Bioatividade do óleo essencial de *Eugenia sulcata* (Pitanguinha-Preta) em cepas clínica de mastite bovina. 2023.

LEONARDIS, A. DE; MACCIOLA, V.; CUOMO, F.; LOPEZ, F. Evidence of oleuropein degradation by olive leaf protein extract. **FOOD CHEMISTRY**, vol. 175, p. 568–574, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814614019189?via%3Dihub>. Acesso em: out./2024.

LIMA, B.; TIETBOHL, L. A.; FERNANDES, C.; CRUZ, R.; BOTAS, G.; SANTOS, M.; SILVA, M.; ROCHA, L. Chemical Composition of Essential Oils and Anticholinesterasic

Activity of *Eugenia sulcata* Spring ex Mart. **Latin American Journal of pharmacy**. 31. 152-155, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/274836495_Chemical_Composition_of_Essential_Oils_and_Anticholinesterasic_Activity_of_Eugenia_sulcata_Spring_ex_Mart.

Acesso em: 20 out. 2024.

LIMA, V. L. A. G.; MÉLO, E. A.; LIMA, D. E. S. Fenólicos e carotenóides totais em pitanga. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 447-450, 2002.

LIU, J.; XU, D.; CHEN, S.; YUAN, F.; MAO, L.; GAO, Y. Superfruits in China: bioactive Phytochemicals and their potential health benefits – A Review. **Food Science & Nutrition**, p. 6892–6902, v. 9, 2021. DOI: 10.1002/fsn3.2614.

LUCAS, B. F.; COSTA, J. A. V. E BRUNNER, T. A. How information on superfoods changes consumers' attitudes: an explorative survey study. **Foods**, p. 1-12, 2022. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/foods11131863> >. Acesso em: abr./2025.

MAGALHÃES, Bettina Quintanilha et al. *Eugenia sulcata* (Myrtaceae) nanoemulsion enhances the inhibitory activity of the essential oil on P2X7R and inflammatory response in vivo. **Pharmaceutics**, v. 14, n. 5, p. 911, 2022.

MAGRO, M.; BARATELLA, D.; COLÒ, V.; et al. Electrocatalytic nanostructured ferric tannate as platform for enzyme conjugation: Electrochemical determination of phenolic compounds. **Bioelectrochemistry**, vol. 132, p. 107418, 2020. Elsevier B.V. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.107418> Acesso em out./2024.

MARTINELLI, S. S. Alimentação saudável e sustentável: uma revisão narrativa sobre desafios e perspectivas. **Revista Ciênc. saúde coletiva**, vol. 24 (11), Nov 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/z76hs5QXmyTVZDdBDJXHTwz/>. Acesso em: dez./2024.

MATTIASO, D. **Superfrutas**: Frutas e Derivados, Embrapa. São Paulo, vol. 3, n. 10, p. 14-17, 2008.

MEDEIROS, T.; LIMA, L. B.; COSTA, S. L. da; PINHEIRO, D. D.; CARNEIRO, P. C. P. D.; VERDE, S. M. M. L. Sobreviventes do câncer têm consumo inadequado de calorias e de nutrientes antioxidantes. **Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria**, vol. 41, n. 3, 2021. Disponível em: <https://revista.nutricion.org/index.php/ncdh/article/view/140>. Acesso em: Dez./2024.

MELLO e SILVA, G. et al. Blackberry jam fruit (*Randia formosa* (Jacq.) K. Schum): An Amazon superfruit with in vitro neuroprotective properties, **Journal of Food Bioscience**, vol. 50, Part A, dezembro de 2022 Part A, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429222005442>. Acesso em: set./2023.

MISSIO, F. de F.; LIMA, E. S.; LIMA, T. F. Q. de; TEREZAN, G. C.; CUSTÓDIO, G. R.; GIROLDO, L.; SILVA, M. C. G. DE M.; JUNIOR, M. V. de M.; SOUZA, V. L. Parâmetros do crescimento inicial de *Eugenia Uniflora*, *Eugenia Involucrata* e *Plinia Cauliflora*, família Myrtaceae, com potencial ao atendimento dos serviços ecossistêmicos. In: **Ciências**

Agrárias: Tecnologia, Sustentabilidade e Inovação. v. 1. Editora Científica Digital, 2024. p. 216-225.

MORAES, G. V.; JORGE, G. M.; GONZAGA, R. V.; SANTOS, D. A. dos. Potencial antioxidante dos flavonoides e aplicações terapêuticas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e238111436225-e238111436225, 2022.

MORENO, E K. G.; MACÊDO, I. Y. L. de; BATISTA, É. a.; MACHADO, F. B.; SANTOS, G. R.; ANDRADE, D. M. L.; ROCHA, M. L.; LIMA, N. M.; VAZ, B. G.; GIL, E. S. Evaluation of Antioxidant Potential of Commercial Cinnamon Samples and Its Vasculature Effects. Hindawi. **National Library of Medicine: Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, vol. 2022, março de 2022:2022:1992039. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35368871/>. Acesso em: set./2023.

MUNIZ, Helton Josué Teodoro. **Colecionando Frutas**, vol. 2, n.1, 2019. Disponível em: <https://www.colecionandofrutas.com.br/livro.htm>. Acesso em: 12 out. 2024.

NEGRI, T. C.; BERNI, P. R. A.; BRAZACA, S. G. C. **Nutritional value of native and exotic fruits from Brazil**. Biosáude, vol. 18, p. 82–96, 2016.

NOWAK, W e JEZIOREK, M. The role of flaxseed in improving human health. **Healthcare**. p. 1- 20, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/healthcare11030395>>. Acesso em: abr./2025.

PACHECO, J. G. et al. **Miniaturized electrochemical systems for food analysis: cost-effective and green tools**. Food Analytical Methods, v. 6, p. 1234–1243, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010854523004769>. Acesso em: 02 dez. 2025.

PEREIRA, D. M.; OLIVEIRA, K. Á. R. de; CHANTELE, L.; SANT'ANA, A. M. da S.; GUEDES, J. P. de S.; CARVALHO, C. T. de.; AZERÉDO, G. A.; BRITO, I. de L. Caracterização da composição nutricional e do teor de pigmentos de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) nas variedades vermelha e roxa. **Brazilian Journal of Development**, vol. 6, n. 8, p. 58026-58038, 2020.

PEREIRA, I. R. S.; MONTEIRO, I. G.; SIQUEIRA, L. P. Extrato da *Eugenia uniflora* L.(pitangueira) e sua ação anti-inflamatória em afecções dermatológicas–Uma revisão da literatura. **Brazilian Journal of Development**, vol. 6, n. 6, p. 33630-33645, 2020.
POZNIAK, B.P.; COLE, R.B. Current measurements within the electrospray emitter. **Jasms**, v. 18, n. 4, p. 737–748, 2007.

REMELY, M. et al. Oxidative stress, micronutrients, and metabolic pathways: recent advances. Nutrition and Metabolism, v. 14, n. 3, p. 22–29, 2017.

RIBEIRO, J. A. *et al.* Toxicological and pharmacological effects of *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae) leaves in mice, Journal of Ethnopharmacology, vol. 309, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 01 dez. 2023.

RODRÍGUEZ-AGUILAR, F.; ORTEGA-REGULES, A. G.; RAMÍREZ-RODRIGUES, M. Influence of time-temperature in the antioxidant activity, anthocyanin and polyphenols

profile, and color of *Ardisia compressa* K. extracts, with the addition of sucrose or citric acid, Food Chemistry. **National Institutes of Health**. vol. 440, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138181>. Acesso em: 03 dez. 2024.

RUFINO, M. S. M. et al. Metodologia científica para avaliação da atividade antioxidante em frutas pela captura do radical livre ABTS. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007.

SACRAMENTO, C. V. et al. Limitações na espectrofotometria para análise de fenóis totais em extratos vegetais: estudo com espécies do gênero *Eugenia*. Boletim de Pesquisa em Alimentos Funcionais, v. 12, n. 1, p. 45–59, 2023.

SANTANA, A. L. et al. Riquezas da flora brasileira: usos, diversidade e conservação. São Paulo: Editora Verde Vida, 2022.

SANTOS, S.C.; PEREIRA, M.O.A.; SANTOS, K.B.; FERRI, P.H. **Compostos bioativos de partes de frutos de três biótipos de *Eugenia uniflora* em quatro estágios de maturação**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100704>.

SALMITO, F. T. S.; MACEDO, A. G. M de; CAVALCANTI, A. R. S. L.; SERAFIM, E. C. G.; SILVA, I. F. da; SANTOS, J. L. L.; ALMEIDA, M. L.; OLIVEIRA, M. I. de; ALMEIDA, M. L. Biomarcadores de estresse oxidativo na doença renal crônica: avanços e desafios. **Revista Contemporânea**, vol. 3(8), 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.56083/RCV3N8-069>. Acesso em: dez./2024.

SEQUEIRA, L. Espécies Reativas e Stress Oxidativo. **Revista de Ciência Elementar**, v. 12, n. 3, 2024.

SETHURAMAN, V.; MUTHURAJA, P.; ANANDHA RAJ, J.; MANISANKAR, P. A highly sensitive electrochemical biosensor for catechol using conducting polymer reduced graphene oxide–metal oxide enzyme modified electrode. **Biosensors and Bioelectronics**, vol. 84, p. 112–119, 2016. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2015.12.074>> Acesso em: out./2024

SILVA, A. C. da; NAVARRO, A. F.; MARIA, D.; MARQUES, A. Oviposition deterrent activity of hydrolate, aqueous extract and major constituents of essential oil from the leaves of *Eugenia uniflora* (Myrtaceae) for the control of *Aedes aegypti*. **Journal of Industrial Crops and Products**, v. 198, agosto de 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669023004752>. Acesso em: fev./2024.

SILVA, D. S. da; PINTO, L. A.; KELLER, L. A. M.; MACHADO, F. P.; EIRIZ, D. N.; ROCHA, L.; FERNANDES, C. P. Inhibitory potential of *Eugenia sulcata* essential oil and its nanoemulsions against *Aspergillus* spp. **Journal of Natural Pesticide Research**, vol. 7, p. 100064, 2024.

SILVA, E. M. et al. Prospecção no Âmbito da Produção de Antioxidantes Naturais para Inserção no Mercado Alimentício. **Cadernos de Prospecção**, v. 15, n. 1, p. 245-260, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/43058>. Acesso em: Dez./2024.

SILVA, E. M. et al. Antioxidantes Naturais: uma abordagem sobre a inserção no mercado cosmético. **Natureza Online**, v. 20, n. 1, p. 37-48, 2022. Disponível em: <https://www.naturezaonline.com.br/revista/article/view/5/3>. Acesso em: Dez./2024.

SILVEIRA, R. M. Quanto as condições ambientais interferem nos óleos essenciais de *Eugenia* spp. L. (Myrtaceae)?. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 33, n. 3, p. 274–280, mar. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/96x7hf57VzY3SJHVyCLRC8n/?lang=en#>. Acesso em: 21 out. 2024.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de química analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. Disponível em: <https://archive.org/details/fundamentos-de-quimica-analitica-skoog-west-holler-crouch>. Acesso: 12 dez. 2025.

SOBEH, M.; HAMZA, MS; ASHOUR, ML; ELKHATIEB; EI RAEY, MA; ABDEL-NAIM, AB; WINK, M. Uma fração rica em polifenóis de *Eugenia uniflora* exibe atividades antioxidantes e hepatoprotetoras in vivo. *Pharmaceuticals* 2020, 13, 84. <https://doi.org/10.3390/ph13050084>

SOUZA, P. S. O. de; SANTOS, M. T. dos; MONTEIRO, R. G.; ESPINDOLA, M. T. A.; SOUZA, H. J. S. de; MONTEIRO, A. L. B.; CAMARA, C. de A.; SILVA, T. M. S. Taninos e Flavonoides das flores de *Eugenia uniflora* (Myrtaceae). **Química Nova**, v. 45, n. 9, p. 1083-1091, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/361767389>, Acesso em: Dez./2024.

SOUZA-SARTORI, J. A.; BAPTISTA, A. S.; SCALISE, C; LIMA, R. B.; AGUIAR, C. L. Parameters of influence on extraction of phenolic compounds from sugarcane tops with total antioxidant activity. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, pp. 297–307, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287608419> Parameters of influence on extr action of phenolic compounds from sugarcane tops with total antioxidant activity. Acesso em: set./2023.

SOUZA-SARTORI, J. A.; BAPTISTA, A. S.; SCALISE, C; LIMA, R. B.; AGUIAR, C. L. Parâmetros de influência na extração de compostos fenólicos de partes aéreas da cana-de-açúcar com atividade antioxidante total. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 297-307, 2013. Tradução. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13341/12267>. Acesso em: 01 jul. 2024.

STAHL, W.; SIES, H. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1740, n. 2, p. 101-107, 2005.

Tambara, A;L.; Moraes, L.L.S.; Forno, A.H.D.; Boldoria, J.R.; Soares, A.T.G.; Rodrigues, C.F.; Mariutti, L.R.B.; Mercadante, A.Z.; Ávila, D.S.; Denardina, C.C. Purple pitanga fruit (*Eugenia uniflora* L.) protects against oxidative stress and increase the lifespan in *Caenorhabditis elegans* via the DAF-16/FOXO pathway. *Food and Chemical Toxicology*, p. 639-650, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.057>. Acesso em: 28 abr. 2025.

TAPIERO, H.; TOWNSEND, D. M.; TEW, K. D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 58, n. 2, p. 100-110, 2004.

Tenório, C.J.L.; Santos Dantas, T.S.; Abreu, L.S.; Ferreira M.R.A.; Soares, L.A.L. Influence of Major Polyphenols on the Anti-Candida Activity of *Eugenia uniflora* Leaves: Isolation, LC-ESI-HRMS/MS Characterization and In Vitro Evaluation. **Molecules**, v. 29, p. 1-21, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules29122761>. Acesso em: 28 abr. 2025.

THEVENOT, D.; TOTH, K.; DURST, R.; et al. Electrochemical biosensors : recommended definitions and classification To cite this version : HAL Id : hal-01084678 Technical report Electrochemical biosensors : recommended definitions and classification. **Biosensors and Bioelectronic**, p. 121–131, 2001.

VALLVERDÚ-QUERALT, A.; REGUEIRO, J.; ALVARENGA, J. F. R. de; TORRADO, X.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M. Carotenoid profile of tomato sauces: effect of cooking time and content of extra virgin olive oil. *Int J Mol Sci* 2015;16:9588–99. <https://doi.org/10.3390/ijms16059588>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4463606/>. Acesso em: Dez./2024.

VILAR, J. dos S.; SILVA, A. C. A. ; COELHO, M. R. Potencial nutritivo de frutos de pitangão (*Eugenia neonitida*, Sobral). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 536–538, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/ijrbf/a/GJ4cScmJZPq5ZMHnhHPBcGP/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 20 out. 2024.

VELLOSA, J. C. R.; BIAVATTI, M.; FRANÇÓIA, P. C. O.; MELLO, B. J. de; ALMEIDA, A. C. de; BUENO, G. E. Estresse oxidativo: uma introdução ao estado da arte. **Brazilian Journal of Development**, vol. 7, n. 1, p. 10152-10168, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23823>. Acesso em: Dez./2024.

WEI, Y.; WANG, L.; HE, Y.; MA, X. Identification and molecular docking of novel antioxidant peptides from *Candida utilis*, *Food Chemistry*. **National Library of Medicine**. v. 455, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139860>. Acesso em: dez./2024.

WEYERSTAHL, P.; MARSHALL-WEYERSTAHL, H; CHRISTIANSEN, C.; OGUNTOMEIN, B.O.ADEOYE, A. O. Volatile constituents of *Eugenia uniflora* leaf oil. **Planta Médica**, v. 54, n. 6, p. 546-549, 1988. Disponível em: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2006-962544?device=desktop&innerWidth=412&offsetWidth=412>. Acesso em: Dez./2024.