



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DOS ALIMENTOS

Monnik Gandin Cavanholi

Efeito da diminuição do pH do mosto e da adição de metabissulfito de potássio nos parâmetros físico-químicos, de cor, composição fenólica e atividade antioxidante de fermentados de araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine)

Florianópolis
2024

Monnik Gandin Cavanholi

Efeito da diminuição do pH do mosto e da adição de metabissulfito de potássio nos parâmetros físico-químicos, de cor, composição fenólica e atividade antioxidante de fermentados de araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine)

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências dos Alimentos.

Orientador(a): Profa. Dra. Carlise Beddin Fritzen Freire

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra

Cavanholi, Monnik Gandin

Efeito da diminuição do pH do mosto e da adição de metabissulfito de potássio nos parâmetros físico-químicos, de cor, composição fenólica e atividade antioxidante de fermentados de araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sakonnik/Gandin Cavanholi ; orientadora, Carlise Beddin Fritzen Freire, 2024.

83 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Araçá-vermelho. 3. Fermentado alcoólico. 4. Antocianinas. 5. Compostos bioativos. I. Freire, Carlise Beddin Fritzen . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

Monnik Gandin Cavanholi

Efeito da diminuição do pH do mosto e da adição de metabissulfito de potássio nos parâmetros físico-químicos, de cor, composição fenólica e atividade antioxidante de fermentados de araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine)

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 21 de março de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a). Shirley Kuhnen, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a). Renata Dias de Mello Castanho Amboni, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Ciências dos Alimentos.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof.(a) Carlise Beddin Fritzen Freire, Dr.(a)
Orientador(a)

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

É com imensa gratidão que expresso meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de dissertação. Esta jornada acadêmica foi enriquecida pelas valiosas colaborações e apoio que recebi ao longo do processo.

Em primeiro lugar à minha família, em especial minha mãe Marli e irmã Débora, por sempre incentivarem meus estudos. Agradeço o amor incondicional, compreensão e apoio constante. Vocês foram fontes inesgotáveis de encorajamento e motivação, e este trabalho é dedicado a vocês, que sempre estiveram ao meu lado.

Ao meu noivo Braion, que me acompanhou durante essa etapa da minha vida. Sou grata pelo seu incentivo, companheirismo, e por ter tornado mais alegres os momentos de dificuldades.

À minha orientadora Prof. Dr^a. Carlise Beddin Fritzen Freire, cuja orientação sábia, paciência e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento e sucesso deste estudo. Seus ensinamentos foram verdadeiros alicerces para minha trajetória acadêmica.

As minhas amigas Suliana, Fernanda, Gabriela, Marilene, Juliana e Flávia obrigada pela alegria, e por sempre estarem prontas a ajudar umas às outras. Vocês são parte desta conquista.

Aos meus colegas de Pós-Graduação e do Laboratório de Frutas e Hortaliças, Ana Letícia, Josi, Natália, Rodrigo, Suliana, Igor, Carlen e Maiara, agradeço a troca de experiências, discussões construtivas e parcerias colaborativas. Cada interação contribuiu para o meu crescimento acadêmico e pessoal, tornando esta jornada ainda mais enriquecedora. Mas agradeço principalmente a Bruna Rafaela, que me auxiliou do início ao fim deste trabalho, obrigada por toda sua ajuda e dedicação.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos (PPGCAL) pela estrutura, recursos e oportunidades proporcionadas ao longo desta pesquisa. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo valioso apoio concedido a esta pesquisa. Também gostaria de agradecer ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pela colaboração e parceria neste projeto.

Agradeço aos Laboratórios de Compostos Bioativos, Bioquímica de Alimentos e Química de Alimentos por disponibilizarem o espaço para a realização de análises. Agradeço à professora Vivian e à Ana Costa, pela valiosa colaboração ao disponibilizarem o espaço e os

recursos necessários para a realização das análises. Suas contribuições foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

À banca examinadora, Prof. Dr^a. Shirley Kuhnen, Prof. Dr^a. Renata D. M. C. Amboni, agradeço a generosidade ao compartilharem seus conhecimentos e experiências.

Este trabalho representa não apenas a minha dedicação, mas o resultado do apoio e colaboração de uma rede de pessoas incríveis. Sintam-se todos parte integrante deste processo e celebremos juntos mais uma conquista, muito obrigada.

RESUMO

O araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine) é uma fruta nativa brasileira ainda subexplorada, que apresenta potencial para o desenvolvimento de bebidas fermentadas, em especial pela sua coloração vermelha atrativa. No entanto, a estabilidade desta cor pode ser alterada pelo pH do mosto e pela presença de agentes de conservação, como o metabissulfito de potássio, durante o processamento das bebidas. Assim, este estudo avaliou o efeito da diminuição do pH do mosto e da adição de metabissulfito de potássio em diferentes etapas do processo sobre os parâmetros físico-químicos, quantificação de ácidos orgânicos e açúcares, de cor, composição fenólica e atividade antioxidante de bebidas fermentadas de araçá-vermelho. Foram elaboradas seis formulações de bebidas, três delas utilizando o pH da polpa (pH 3,0) e outras três com ajuste do pH para 2,8 com ácido cítrico. O metabissulfito de potássio foi adicionado em todas as formulações, mas em etapas distintas: 100 mg/L na etapa pré-fermentativa (MI); 50 mg/L na etapa pré-fermentativa + 50 mg/L na etapa pós-fermentativa (MP); e 100 mg/L na etapa pós-fermentativa (MF). O teor de ácido ascórbico foi mais expressivo na amostra MI pH inicial 3,0, os valores de dióxido de enxofre total dos fermentados de araçá vermelho estão dentro do limite permitido pela legislação brasileira (0,35 g/L), já o teor alcoólico obteve uma variação entre 3% e 3,43%. Os principais ácidos orgânicos identificados nos fermentados de araçá-vermelho foram o ácido cítrico, málico, glicólico e lático. O pH inicial influenciou a coloração vermelha da escala de cor CIELab, sendo mais significativo nos fermentados com pH inicial 2,8. As amostras MI e MP com pH inicial de 2,8 apresentaram maior atividade antioxidante pelo ensaio DPPH, atingindo 20,99 μM equivalente Trolox (TEAC)/mL e 20,28 $\mu\text{M}/\text{mL}$ TEAC, respectivamente. Foram identificados 14 compostos fenólicos nos fermentados de araçá-vermelho, sendo o ácido gálico, a catequina e o tirosol os compostos majoritários. Além disso, os resultados revelaram que a redução do pH para 2,8 e a adição de 100 mg de metabissulfito de potássio na etapa pré-fermentativa contribuíram significativamente para um maior teor de cianidina-3-glicosídeo, a antocianina majoritária, contribuindo para a preservação da cor avermelhada da bebida. Em suma, a amostra de fermentado tratada com metabissulfito de potássio na fase pré-fermentativa (MI) e com ajuste de pH para 2,8 destacou-se de maneira significativa, evidenciando seu potencial em várias análises realizadas. Este estudo foi pioneiro na elaboração de bebidas fermentadas a partir do araçá-vermelho e buscou o reconhecimento desta espécie nativa ainda pouco conhecida e utilizada na indústria.

Palavras-chave: Araçá-vermelho; fermentado alcoólico; antocianinas; compostos bioativos; *Psidium cattleianum*.

ABSTRACT

The red araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) is an under-exploited native Brazilian fruit that has potential for the development of fermented beverages, especially due to its attractive red color. However, the stability of this color can be altered by the pH of the must and the presence of preserving agents, such as potassium metabisulfite, during the processing of the drinks. Therefore, this study evaluated the effect of reducing the pH of the must and adding potassium metabisulphite at different stages of the process on the physicochemical parameters, quantification of organic acids and sugars, color, phenolic composition and antioxidant activity of fermented red araçá beverages. Six beverage formulations were made, three of them using the pH of the pulp (pH 3.0) and the other three adjusting the pH to 2.8 with citric acid. Potassium metabisulphite was added to all the formulations, but at different stages: 100 mg/L in the pre-fermentation stage (MI); 50 mg/L in the pre-fermentation stage + 50 mg/L in the post-fermentation stage (MP); and 100 mg/L in the post-fermentation stage (MF). The ascorbic acid content was higher in the MI sample at an initial pH of 3.0, the total sulphur dioxide values of the red araçá fermented products were within the limit allowed by Brazilian legislation (0.35 g/L), while the alcohol content varied between 3% and 3.43%. The main organic acids identified in red araçá fermented products were citric, malic, glycolic, and lactic acid. The initial pH influenced the red color of the CIELab color scale, being more significant in fermented products with an initial pH of 2.8. The MI and MP samples with an initial pH of 2.8 showed the highest antioxidant activity in the DPPH test, reaching 20.99 μM Trolox equivalent (TEAC)/mL and 20.28 $\mu\text{M}/\text{mL}$ TEAC, respectively. Fourteen phenolic compounds were identified in the red araçá fermented fruit, with gallic acid, catechin and tyrosol being the main compounds. In addition, the results revealed that reducing the pH to 2.8 and adding 100 mg of potassium metabisulphite in the pre-fermentation stage contributed significantly to a higher content of cyanidin-3-glucoside, the majority anthocyanin, helping to preserve the reddish color of the drink. In short, the fermented beverage sample treated with potassium metabisulphite in the pre-fermentation phase (MI) and with the pH adjusted to 2.8 stood out significantly, demonstrating its potential in the various analyses carried out. This study was a pioneer in the production of fermented beverages from red araçá and sought to recognize this native species, which is still little known and used in industry.

Keywords: red araçá; alcoholic ferment; anthocyanins; bioactive compounds; *Psidium cattleianum*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Araçá-vermelho (<i>Psidium cattleianum</i> Sabine).....	20
Figura 2 - Classificação dos principais fitoquímicos de origem vegetal.....	23
Figura 3 - Estrutura molecular dos principais flavonoides presentes no araçá-vermelho.	26
Figura 4 - Estrutura das antocianinas na forma de cátion flavílio.....	28
Figura 5 - Etapas do processo de elaboração de fermentados de frutas.	32
Figura 6 - Esquema do metabolismo da fermentação alcoólica realizado pelas leveduras do gênero <i>Saccharomyces</i> , com destaque para formação de etanol a partir do piruvato.	37
Figura 7- Acompanhamento do teor de sólidos solúveis totais (a) e do pH (b) durante o processo de fermentação do araçá-vermelho.....	46
Figura 8 - Parâmetros CIELab e imagens das amostras de fermentados de araçá-vermelho...	55
Figura 9 - Intensidade de cor dos fermentados de araçá-vermelho.	58
Figura 10 - Teor de compostos fenólicos totais (CFT) (a) e antocianinas monoméricas totais (b) dos fermentados de araçá-vermelho.....	59
Figura 11 - Capacidade antioxidante <i>in vitro</i> dos fermentados de araçá-vermelho pelos métodos, ABTS (a), DPPH (b) e FRAP (c).....	61
Figura 12- Análise dos componentes principais (a) e análise de agrupamento hierárquico (b) dos fermentados de araçá-vermelho na composição fenólica e antocianinas individuais.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Regiões Biogeográficas da espécie <i>Psidium cattleianum</i> Sabine.	19
Quadro 2 - Composição centesimal média do araçá-vermelho*.	21
Quadro 3 - Principais antioxidantes endógenos e exógenos.....	24
Quadro 4 - Compostos fenólicos majoritários do araçá-vermelho.....	25
Quadro 5 - Condições pré-fermentativas na elaboração de fermentados de frutas contendo antocianinas.	33
Quadro 6 - Formulações de fermentados de araçá-vermelho com variações no pH e na adição de metabissulfito de potássio.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros físico-químicos dos fermentados de araçá-vermelho.	49
Tabela 2 - Composição de ácidos orgânicos alifáticos (mg/L) e açúcares (g/100mL) nos fermentados de araçá-vermelho.....	51
Tabela 3 - Parâmetros de cor dos fermentados de araçá-vermelho.	54
Tabela 4 - Efeito do metabissulfito de potássio e do pH na diferença de cor (ΔE^*) dos fermentados de araçá-vermelho.....	56
Tabela 5 - Concentração dos compostos fenólicos e antocianinas individuais nos fermentados de araçá-vermelho.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	Ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazol) 6-ácido sulfônico
ACP	Análise de componentes principais
AAH	Análise de agrupamento hierárquico
CFT	Compostos fenólicos totais
CO ₂	Gás Carbônico
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazila
FRAP	Poder antioxidante/redutor do ferro (do inglês "Ferric reducing antioxidant potential")
K ₂ S ₂ O ₅	Metabissulfito de potássio
OIV	Organização Internacional da Vinha e do Vinho
SST	Sólidos solúveis totais
SO ₂	Dióxido de enxofre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo geral.....	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	ARAÇÁ-VERMELHO - <i>PSIDIUM CATTLEIANUM</i> SABINE.....	19
2.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ARAÇÁ-VERMELHO	21
2.2.1	Parâmetros Físico-Químicos e Nutricionais.....	21
2.2.2	Fitoquímicos e suas propriedades antioxidantes	22
<i>2.2.2.1</i>	<i>Composição fenólica do araçá-vermelho.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.2.1.1</i>	<i>Antocianinas</i>	<i>27</i>
2.3	FERMENTADOS DE FRUTAS	30
2.3.1	Elaboração de fermentados de frutas	31
<i>2.3.1.1</i>	<i>Pré-fermentação</i>	<i>32</i>
<i>2.3.1.2</i>	<i>Fermentação.....</i>	<i>36</i>
<i>2.3.1.3</i>	<i>Pós fermentação</i>	<i>38</i>
3	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1	COLETA E PROCESSAMENTO DOS FRUTOS	40
3.2	PREPARAÇÃO DOS MOSTOS E PROCESSO DE FERMENTAÇÃO DO ARAÇÁ-VERMELHO.....	40
3.3	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E PERFIL DE ÁCIDOS ORGÂNICOS E AÇÚCARES.....	41
3.4	ANÁLISES DE COR	42
3.4.1	Parâmetros CIELab	42
3.4.2	Medidas de intensidade da cor	43
3.5	DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, ANTOCIANINAS MONOMÉRICAS TOTAIS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE <i>IN VITRO</i>	43
3.5.1	Avaliação dos compostos fenólicos totais.....	43
3.5.2	Avaliação das antocianinas monoméricas totais.....	43
3.5.3	Avaliação da capacidade antioxidante.....	44
3.6	ANÁLISES CROMATOGRÁFICAS	44
3.6.1	Polifenóis individuais.....	44

3.6.2	Antocianinas individuais.....	45
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	AVALIAÇÃO DO PROCESSO FERMENTATIVO E DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FERMENTADOS DE ARAÇÁ-VERMELHO.....	46
4.2	ANÁLISES DE COR	53
4.2.1	Parâmetros CIELab	53
4.2.2	Medidas de intensidade da cor	57
4.3	COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ANTOCIANINAS MONOMÉRICAS TOTAIS.....	59
4.4	CAPACIDADE ANTIOXIDANTE <i>IN VITRO</i>	61
4.5	POLIFENÓIS E ANTOCIANINAS INDIVIDUAIS.....	62
5	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Os fermentados de frutas têm despertado a atenção dos consumidores devido à diversidade que agregam ao mercado de bebidas e às suas características de qualidade, que englobam aspectos físico-químicos, sensoriais e bioativos (GAO *et al.*, 2022; SUN *et al.*, 2022). Assim, o processo fermentativo emerge como uma alternativa promissora para a utilização e preservação de espécies frutíferas nativas, muitas vezes negligenciadas comercialmente e sujeitas a expressivas perdas pós-colheita (SILVEIRA *et al.*, 2021).

O araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine), pertencente à família Myrtaceae, é uma fruta nativa brasileira que apresenta uma coloração vermelha atrativa, além de uma polpa suculenta, de sabor doce e moderadamente ácida (MEREGALLI *et al.*, 2020), tornando-se uma boa alternativa para a produção de bebidas fermentadas. Além de suas qualidades sensoriais, o consumo regular desta fruta está associado a potenciais benefícios à saúde, atribuídos principalmente à presença de ácido ascórbico e polifenóis (PEREIRA *et al.*, 2018). Em relação à composição fenólica do araçá-vermelho, esta fruta se destaca especialmente no perfil de antocianinas, com ênfase na cianidina-3-glicosídeo, associada à coloração vermelha da fruta (CHAVES *et al.*, 2018). No entanto, a produção de bebidas contendo antocianinas enfrenta desafios tecnológicos consideráveis, devido à instabilidade desses compostos diante de vários fatores de processamento, como luz, oxigênio, temperatura, pH, presença de sulfitos e reações enzimáticas (VARO *et al.*, 2022).

A interação entre o pH inicial do mosto e a adição estratégica de conservantes, como o metabissulfito de potássio ($K_2S_2O_5$), assume um papel crucial na elaboração de fermentados de frutas. Este composto é inicialmente empregado durante a fase pré-fermentação devido às suas propriedades antibacterianas e antioxidantes. Posteriormente, sua utilização pode ser retomada para conferir maior estabilidade às bebidas. Entretanto, é essencial destacar que a interação entre o metabissulfito de potássio e as antocianinas monoméricas pode resultar na alteração da intensidade e tonalidade da cor vermelha da bebida, proveniente da coloração dos frutos. Esse fenômeno propicia um aumento na quantidade de pigmentos poliméricos, exercendo uma influência significativa na formação de uma coloração mais escura para a bebida (GABRIELE *et al.*, 2018; VARO *et al.*, 2022).

Adicionalmente, as antocianinas são mais estáveis em meios com pH inferior a 3,0, devido à elevada concentração de íons H^+ . Essas substâncias assumem a forma de cátion flavílio, apresentando uma coloração mais intensa que varia do vermelho ao laranja (ALBARACI *et al.*, 2006). De acordo com Varo *et al.* (2022) é crucial conhecer o pH da fruta

in natura destinada à fermentação, sendo recomendada, quando necessário, a aplicação de reguladores de acidez, como o ácido cítrico, considerando sempre a tolerância da levedura fermentativa.

Diante do exposto, a produção de fermentado de araçá-vermelho torna-se uma inovação no segmento de bebidas, ao mesmo tempo que representa um desafio, sendo que o principal obstáculo enfrentado na fermentação do araçá-vermelho está relacionado à mudança na cor do produto, que pode impactar diretamente a aparência e as propriedades bioativas da bebida. Desta forma, investigar a influência da adição de ácido cítrico no mosto e de metabissulfito de potássio em diferentes etapas do processo poderá auxiliar no desenvolvimento de um fermentado alcoólico com melhor qualidade, buscando a preservação da cor e minimização de perdas de compostos bioativos, além de ampliar o mercado de bebidas e promover a valorização desta espécie nativa pouco conhecida e utilizada industrialmente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da diminuição do pH do mosto e da adição de metabissulfito de potássio nos parâmetros físico-químicos, de cor, composição fenólica e atividade antioxidante de fermentados de araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine).

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Elaborar fermentados de araçá-vermelho com variações do pH do mosto (3,0, pH do fruto *in natura* e 2,8, pH ajustado com adição de ácido cítrico) e da adição de metabissulfito de potássio: 100 mg/L na etapa pré-fermentativa; 50 mg/L na etapa pré-fermentativa + 50 mg/L na etapa pós-fermentativa; e 100 mg/L na etapa pós-fermentativa;
- b) Monitorar o processo de fermentação analisando a cada dois dias o teor de sólidos solúveis totais e o pH;
- c) Caracterizar os fermentados de araçá-vermelho quanto aos parâmetros físico-químicos (acidez total, ácido ascórbico, SO₂ total e teor alcoólico) e quantificação de ácidos orgânicos alifáticos e açúcares;
- d) Avaliar os parâmetros de cor das bebidas utilizando a escala CIELab e medidas espectrofotométricas;
- e) Avaliar a composição fenólica total, antocianinas monoméricas totais e capacidade antioxidante dos fermentados de araçá-vermelho;
- f) Avaliar a composição fenólica individual dos fermentados de araçá-vermelho, com ênfase no perfil de antocianinas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARAÇÁ-VERMELHO - *PSIDIUM CATTLEIANUM* SABINE

O Brasil é mundialmente conhecido pela sua diversidade botânica, e diante dessa abundância da flora brasileira, a família Myrtaceae se apresenta como uma das mais numerosas, com muitas espécies frutíferas, podendo ser utilizadas na produção de alimentos (ROCKETT *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2014). Os gêneros desta família que possuem grande valor econômico são *Eugenia*, *Acca*, *Myrciaria* e *Psidium*, sendo que no gênero *Psidium* há aproximadamente 100 espécies, das quais, *Psidium cattleianum* Sabine, vem se tornando uma fruta com grande potencial econômico devido às suas características físicas e químicas (FRAZON *et al.*, 2009; ZANDONÁ *et al.*, 2020).

Apesar de ser uma espécie nativa brasileira, o araçá-vermelho apresenta grande distribuição mundial, com preferência por solos úmidos e exposição ao sol. O Museu Botânico de Kew Gardens, localizado em Londres é um dos maiores acervos de plantas do mundo e contempla as indicações biogeográficas (Quadro 1) da distribuição mundial da *Psidium cattleianum* Sabine (PEDROSA-MACEDO *et al.*, 2007).

Quadro 1 - Regiões Biogeográficas da espécie *Psidium cattleianum* Sabine.

Zona Afrotropical	Zona Neotropical	Zona Neártica	Australásia	Zona Oriental
Tanzânia	Brasil	Flórida	Austrália	Hong Kong
Gana	Uruguai		Nova Caledônia	Ilha Bonin
Serra Leoa	Paraguai		Ilha Norfolk	Sri Lanka
Quênia	Argentina		Ilha Lord Howe	Sabah
Madagascar	Bermudas		Ilha Pentecostes	Malásia
Ilhas Maurício			Novas Híbridas	Havaí
Ruanda			Ilha Salomão	Ilha Christmas
Seichelles				Arquipélago Taiti
Ilha de La Reunión				Ilhas Fiji

Fonte: Adaptado de Pedrosa-Macedo *et al.* (2007).

No território brasileiro, o araçá-vermelho é encontrado principalmente na região Sul do Brasil, em especial na região litoral meridional de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (PEDROSA-MACEDO *et al.*, 2007; PEREIRA *et al.*, 2018). O araçazeiro é uma planta que pode atingir aproximadamente 4 metros (FRAZON *et al.*, 2009), o arbusto apresenta folhas simples, glabras de coloração verde, e suas flores se apresentam na cor branca. O fruto possui formato globoso, ovoide ou achatado, coroada pelo cálice, ao amadurecer, o tamanho varia em média entre 2,2 e 5 cm de diâmetro (Figura 1) (LISBÔA; KINUPP; BARROS, 2011). O fruto apresenta dois genótipos em seu epicarpo, amarelo e vermelho, onde leva sua denominação de araçá-amarelo e araçá-vermelho, respectivamente. A principal diferença entre esses frutos está relacionada a quantidade de antocianinas, sendo que os frutos de araçá-amarelo apresentam menor concentração de antocianinas (5,53mg/100g), quando comparados com o araçá-vermelho (56,65mg/100g), esta diferença no teor de antocianinas está relacionada principalmente a casca do fruto (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 1- Araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine)



Fonte: O Autor (2022).

O araçá-vermelho apresenta uma polpa suculenta, com sabor doce e moderadamente ácido (MEREGALLI *et al.*, 2020). Este fruto geralmente é consumido por populações locais, onde há ocorrência natural do araçá, sendo consumido *in natura*, ou na forma caseira de geleias, sucos e sorvetes (FRAZON *et al.*, 2009; MELO *et al.*, 2020). No entanto, pesquisas científicas utilizando o *Psidium cattleianum* Sabine tem se expandindo, onde podem ser encontrados trabalhos empregando araçá liofilizado em pó (MELO *et al.*, 2020), óleo essencial de araçá microencapsulado (ROSÁRIO *et al.*, 2020), produção de extrato hidroalcoólico para elaboração de licor (PAGLIARINI *et al.*, 2023), além de araçá-vermelho desidratado incorporado em iogurte tipo grego (GWOZDZ *et al.*, 2023).

O araçá-vermelho tem sido reconhecido por suas características químicas e o seu potencial bioativo. De acordo com Lima *et al.* (2020), a fruta pode apresentar um teor de vitamina C significativo, além de outros compostos de importância nutricional como minerais, ácidos graxos e polissacarídeos. A bioatividade do araçá-vermelho está fortemente atrelada aos compostos fenólicos, que protegem o sistema biológico contra excesso de radicais livres e espécies reativas ao oxigênio (PEREIRA *et al.*, 2018). Devido a essas características, estudos relatam que o araçá apresenta atividades antiproliferativas, antidiabéticas e antimicrobianas (RIBEIRO *et al.*, 2014; ROSÁRIO *et al.*, 2020; VINHOLES *et al.*, 2017).

2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ARAÇÁ-VERMELHO

2.2.1 Parâmetros Físico-Químicos e Nutricionais

No Brasil, as frutas nativas têm sido um grande alvo de estudos devido aos seus potenciais benefícios à saúde, e neste sentido, a relação entre nutrição e saúde desperta o interesse da indústria de alimentos (DENARDIN *et al.*, 2015). As frutas nativas apresentam características nutricionais interessantes, além disso, o uso destas frutas contribui positivamente para o aumento de renda do agricultor rural (BRACK *et al.*, 2020).

O araçá-vermelho pode apresentar valores de umidade entre 86,36 e 87,18 g/100g, sua acidez titulável fica em torno de 1,39 a 1,88 g/100g de ácido ascórbico e o teor de cinzas pode chegar a 0,86 g/100g. Quanto ao teor de sólidos solúveis totais (SST), os valores nas polpas podem atingir 11,40 °Brix, enquanto o pH médio fica em torno de 3,4 (HAMINIUK *et al.*, 2006; MELO, 2019). No Quadro 2 é possível verificar alguns parâmetros da composição centesimal média do araçá-vermelho.

Quadro 2 - Composição centesimal média do araçá-vermelho*.

Composição	Polpa	Referências
Proteínas	0,50 - 1,16 g/100g	Silva <i>et al.</i> (2008) - Melo (2019)
Carboidratos	7,67 – 9,04 g/100g	Silva <i>et al.</i> (2008) - Melo (2019)
Lipídios	0,49 – 0,65 g/100g	Silva <i>et al.</i> (2008) - Melo (2019)
Fibras solúveis	7,50 - 8,65 g/100g	Silva <i>et al.</i> (2008) - Melo (2019)
Valor energético	37,09 Kcal/100g	Silva <i>et al.</i> (2008)

*Resultados expressos em base úmida.

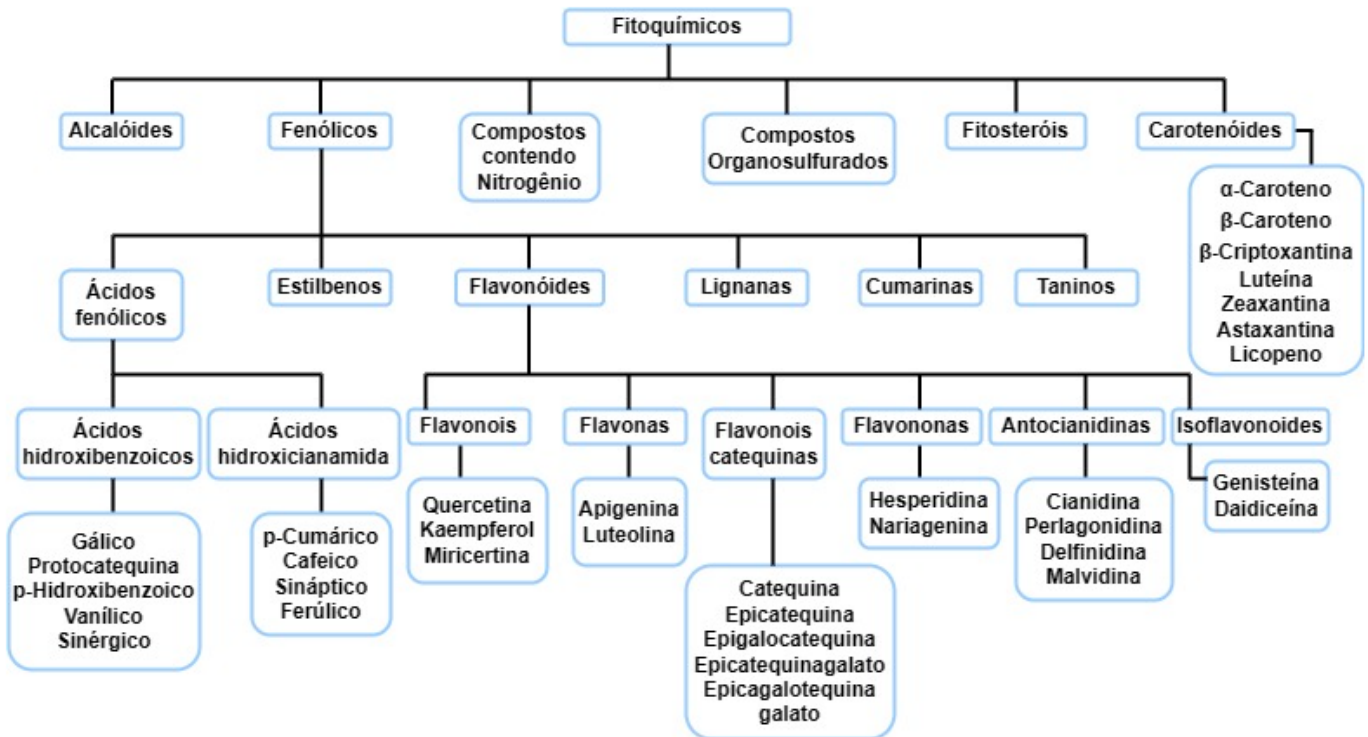
O araçá-vermelho também apresenta uma interessante composição mineral, com destaque para o potássio (1,3%), cálcio (0,18%) e fósforo (0,11%) (KINUPP *et al.*, 2008). Esses elementos contribuem para regulação de vias metabólicas, formação de órgãos vitais, sendo indispensáveis para reações enzimáticas, regulação do metabolismo, no equilíbrio do pH, atuam na rigidez dos ossos e dentes, e intermediam o transporte de oxigênio e dióxido de carbono no sangue, além de contribuírem na adesão e divisão celulares (FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010; GUPTA *et al.*, 2014).

O araçá-vermelho tem sido descrito por alguns autores como uma importante fonte de Vitamina C, com diferentes estudos apontando variações no teor de ácido ascórbico da fruta, tais como 0,095 mg/100g (DENARDIN *et al.*, 2015), 24,2 mg/100g (LUXIMON-RAMMA *et al.*, 2003), 51 mg/100g (SOUZA *et al.*, 2018), e 209,1 mg/100g (MCCOOK-RUSSELL *et al.*, 2012). No entanto, o teor de vitamina C presente em frutas pode variar dependendo de diversos fatores, como condições climáticas, condições do solo e região do plantio, além do tipo de processamento pós-colheita (FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010).

2.2.2 Fitoquímicos e suas propriedades antioxidantes

Os fitoquímicos são compostos químicos que podem apresentar propriedades bioativas, sendo classificados em diferentes categorias, com destaque no araçá-vermelho para os compostos fenólicos (Figura 2). Estes fitoquímicos são encontrados em diferentes partes vegetais, como sementes, cascas, folhas e frutos, portanto, a ingestão diária de vegetais favorece o impacto benéfico na prevenção de doenças crônicas, pois estes compostos bioativos tendem a atuar como agentes antioxidantes (SHARMA *et al.*, 2021).

Figura 2 - Classificação dos principais fitoquímicos de origem vegetal.



Fonte: Adaptado de Liu *et al.* (2013).

Os antioxidantes são defesas biológicas com diversos mecanismos de ação contra o estresse oxidativo (FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010), que é causado pela geração de radicais livres em excesso, e que podem provocar danos ao organismo (DEMIRCI-ÇEKIÇ *et al.*, 2022). Radicais livres (RL) são átomos ou moléculas que apresentam números ímpares na última camada eletrônica, o que lhes confere alta reatividade (PISOSCHI *et al.*, 2015). São moléculas instáveis e que podem ser eliminadas de duas maneiras: pela atividade de antioxidantes endógenos ou exógenos, ou pelo mecanismo de oxirredução (PEREIRA *et al.*, 2012).

Os antioxidantes consistem em uma variedade de substâncias, incluindo vitaminas, minerais, pigmentos naturais, compostos vegetais e enzimas. Eles desempenham a função de neutralizar os radicais livres, que são formados tanto em reações metabólicas internas quanto devido a fatores externos, protegendo assim o organismo contra danos (MARTEMUCCI *et al.*, 2022; PEREIRA *et al.*, 2012). Os antioxidantes também atuam em processos de reparo em moléculas de DNA e reconstituição de membranas celulares por lesões causadas pelos radicais livres (NIMAL *et al.*, 2022). Desta forma, os antioxidantes que fazem parte de defesas no organismo humano compreendem os antioxidantes endógenos que podem ser enzimáticos e não enzimáticos, e os antioxidantes exógenos, que são provenientes da dieta

(BOUAYED *et al.*, 2010). No quadro 3 é possível conhecer alguns dos antioxidantes endógenos e exógenos.

Quadro 3 - Principais antioxidantes endógenos e exógenos.

Antioxidantes endógenos	Antioxidantes exógenos
<i>Antioxidantes enzimáticos</i>	<i>Antioxidantes provenientes na dieta</i>
Superóxido dismutase: enzima desintoxicante do radical superóxido	Vitaminas: Vitamina C e E Minerais: Zinco e selênio
Catalase e glutaciona peroxidase: enzimas envolvidas na desintoxicação de peróxidos.	Carotenóides: β -caroteno, licopeno, luteína, zeaxantina.
Glutaciona redutase: enzima envolvida na regeneração da glutaciona	Ácidos fenólicos: ácido clorogênico, ácido gálico, ácido cafeico, entre outros.
Tioredoxina redutase: enzima envolvida na proteção contra proteínas oxidação	Flavonois: quercetina, kaempferol, miricertina
Glicose-6-fosfato desidrogenase: enzima envolvida na regeneração de NADPH	Flavanois: catequinas e proantocianidinas Antocianidinas: cianidina e pelargonidina
<i>Antioxidantes não enzimáticos</i>	Isoflavonas: genisteína, daidiceína e gliciteína
Glutaciona, ácido úrico, ácido lipóico, NADPH, coenzima Q, albumina, bilirrubina	Flavanonas: Nariagenina, hesperidina, eriodictiol Flavonas: Apigenina e Luteolina

Fonte: adaptado de Bouayed *et al.* (2010)

Um estudo realizado por Medina *et al.* (2011) com seis genótipos de araçá, identificou que genótipos vermelhos apresentaram um maior potencial antioxidante de inibição do radical DPPH (45,3%), em comparação aos genótipos amarelos que apresentaram uma inibição do radical DPPH menor (34,6%). Já na pesquisa conduzida por Vinholes *et al.* (2017) foi possível verificar que os extratos de diferentes frutas nativas, incluindo o araçá-vermelho, apresentam-se como promissoras fontes de antioxidantes e inibidores de α -glucosídeo visando o controle de diabetes.

2.2.2.1 Composição fenólica do araçá-vermelho

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas, e contribuem na defesa vegetal contra o estresse causado por fatores externos, como a ação ultravioleta e

patógenos (ALARA *et al.*, 2021). Do ponto de vista químico, os compostos fenólicos possuem um anel aromático que contém em sua estrutura um ou mais grupos hidroxila, podendo ser classificados como fenóis simples ou polifenóis (ROLEIRA *et al.*, 2018). O perfil dos compostos fenólicos nos vegetais pode variar de acordo com o grau de maturação da planta, o tipo de tecido vegetal, e das condições do meio externo, podendo ocorrer variações também após a colheita, devido as condições de armazenamento (FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010). Além disso, os diferentes métodos de extração e solventes utilizados também podem influenciar na concentração fenólica do fruto (RIBEIRO *et al.*, 2014). Vale ressaltar que o araçá vermelho apresenta uma composição fenólica variada, com destaque para os flavonoides (Quadro 4), sendo superior em relação ao biotipo amarelo (MEDINA *et al.*, 2011). Entretanto, pesquisas referentes a investigação da composição fenólica do araçá-vermelho são limitadas, e tais resultados estão intrinsecamente ligados às práticas de cultivo agrônomo.

Quadro 4 - Compostos fenólicos majoritários do araçá-vermelho.

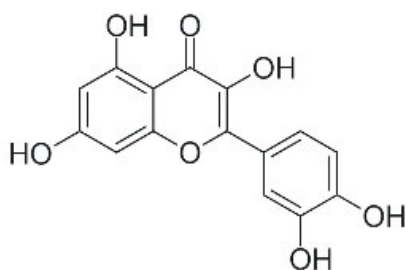
Composto	µg/g	Referências
Ácido gálico	9,9 - 1510	Machado <i>et al.</i> (2023) Mallmann <i>et al.</i> (2020) Ribeiro <i>et al.</i> (2014)
Ácido clorogênico	121	Ribeiro <i>et al.</i> (2014)
Ácido elágico	27,2 - 3818	Machado <i>et al.</i> (2023) Mallmann <i>et al.</i> (2020) Ribeiro <i>et al.</i> (2014)
Quercetina	6,6 - 32	Machado <i>et al.</i> (2023) Medina <i>et al.</i> (2011) Ribeiro <i>et al.</i> (2014)
Catequina	168,7	Machado <i>et al.</i> (2023) Mallmann <i>et al.</i> (2020)
Epicatequina	1603 – 2130,4	Machado <i>et al.</i> (2023) Medina <i>et al.</i> (2011) Ribeiro <i>et al.</i> (2014)
Ácido Cumárico	7,7 – 31,7	Machado <i>et al.</i> (2023) Medina <i>et al.</i> (2011)
Ácido ferúlico	8,1 – 6	Machado <i>et al.</i> (2023) Medina <i>et al.</i> (2011)
Miricetina	0,6 - 14	Machado <i>et al.</i> (2023) Medina <i>et al.</i> (2011)
Cianidina - 3 - glicosídeo	354,66 - 715	Machado <i>et al.</i> (2023) Nora <i>et al.</i> (2014)
Malvidina - 3 - glicosídeo	243,58	Machado <i>et al.</i> (2023) Nora <i>et al.</i> (2014)
Petunidina 3-glicosídeo	100	Machado <i>et al.</i> (2023)

Dentre os flavonoides encontrados no araçá-vermelho podem ser citadas a quercetina, miricetina, epicatequina, cianidina-3-glicosídeo, malvidina-3-glicosídeo conforme estruturas apresentadas na Figura 3.

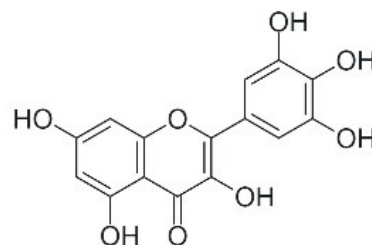
Os flavonoides podem ser encontrados como glicosídeos e como aglicona. Nos alimentos, os flavonoides se apresentam na forma de O-glicosídeos em que o grupo açúcar está ligado à aglicona por uma ligação O-glicosídica. No entanto, C-glicosilados retratam um grupo de compostos heterocíclicos de oxigênio abundante em diversas plantas, sendo que o grupo açúcar e o aglicona estão ligados por uma ligação C-glicosídica (XIAO *et al.*, 2015).

As antocianinas constituem uma importante subclasse de flavonoides, responsáveis pela cor característica e por diversas propriedades biológicas. Ao contrário dos flavonoides, as antocianinas exibem uma coloração intensa devido a um cromóforo longo com oito ligações duplas conjugadas, associado a uma carga positiva no oxigênio do anel C heterocíclico, em condições ácidas. A cor das agliconas varia com o número de grupos hidroxila, contribuindo para tonalidades azuis, e com o número de grupos metoxi, resultando em tonalidades vermelhas. A diversidade estrutural e o aumento da estabilidade é ampliada pela glicosilação das antocianidinas com um ou mais açúcares e pela acilação das moléculas de açúcar com ácidos orgânicos, estabelecendo ligações ésteres. Esses processos podem modificar o tamanho molecular e a polaridade das antocianinas, afetando suas propriedades físico-químicas. Por exemplo, a glicosilação aumenta a solubilidade em água, enquanto a acilação reduz essa solubilidade (CHEN *et al.*, 2019).

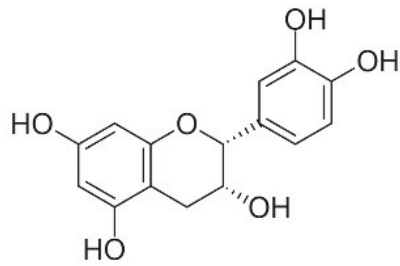
Figura 3 - Estrutura molecular dos principais flavonoides presentes no araçá-vermelho.



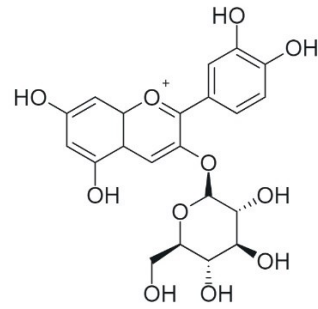
Quercetina



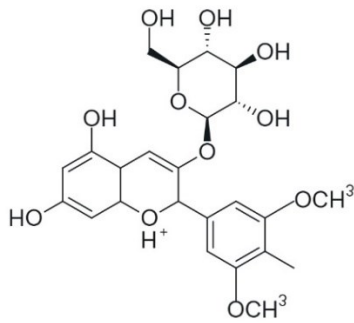
Miricetina



Epicatequina



Cianidina-3-O-glicosídeo



Malvidina-3-O-glicosídeo

Fonte: Elaborado pela autora com auxílio do programa Chemicalize (2022).

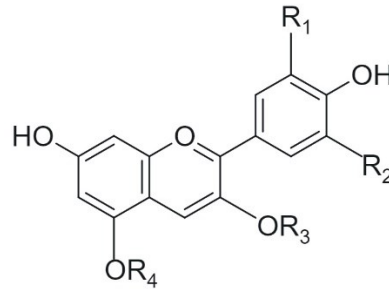
Estes flavonoides podem conferir uma série de benefícios à saúde. A quercetina está envolvida na prevenção de doenças cardiovasculares e de tumores, enquanto as catequinas, epicatequinas e miricetina estão associadas aos efeitos antidiabéticos e ao controle da obesidade, além disso, as catequinas estão envolvidas na proteção hepática. Já as antocianinas cianidina e malvidina promovem efeitos antiinflamatórios e antidiabéticos (HOSSAIN *et al.*, 2016; SHARMA *et al.*, 2021), além de conferirem a coloração vermelha ao araçá (NORA *et al.*, 2014).

2.2.2.1.1 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos de origem vegetal que apresentam solubilidade em água e podem apresentar variadas cores, dependendo das condições do meio (YANG *et al.*, 2022). Estruturalmente, as antocianinas apresentam C6-C3-C6 e 2-fenilbenzopirona do sal flavílio (Figura 4). As antocianinas ocorrem como glicosídeos, tendo como açúcares a glicose, galactose, arabinose, xilose, di e trissacarídeos. Na natureza as antocianidinas apresentam dezenove formas, no entanto, nos alimentos estas moléculas se apresentam de seis maneiras,

sendo elas, perlagonidida, cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina e malvidina (FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010; TAN *et al.*, 2022).

Figura 4 - Estrutura das antocianinas na forma de cátion flavílio



Antocianinas	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
Perlagonidina	H	H	Glicosil	H Ou Glicosil
Cianidina	OH	H		
Delfinidina	OCH ₃	H		
Peonidina	OH	OH		
Petunidina	OCH ₃	OH		
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃		

Fonte: Adaptado de Tan *et al.* (2022).

No araçá-vermelho foram identificadas em maiores concentrações a cianidina-3-glicosídeo (354,66 µg/g), malvidina-3-glicosídeo (243,58 µg/g), peonidina 3-glicosídeo (150 µg/g) e petunidina 3-glicosídeo (100 µg/g), respectivamente (CHAVES *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2023; NORA *et al.*, 2014; VINHOLES *et al.*, 2017). A principal antocianina do araçá-vermelho, cianidina-3-glicosídeo é relatada por Wang *et al.* (2023) com uma série de benefícios à saúde, atuando contra o estresse oxidativo, doenças inflamatórias intestinais, doenças cardiovasculares e neurológicas.

A cianidina é amplamente encontrada em frutos vermelhos devido a sua capacidade de pigmentação (ENARU *et al.*, 2021), o que torna esses frutos atrativos para o desenvolvimento de bebidas, levando em conta que a aparência e a cor são fatores muito importantes na escolha dos produtos pelo consumidor (GÉRARD *et al.*, 2019).

No entanto, as antocianinas são moléculas instáveis, tanto em condições ambientais ou de processamento, e sofrem alterações com a variação de luz, pH, oxigênio (CAI *et al.*, 2022), presença de sulfitos, reações enzimáticas (FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010; VARO *et al.*, 2022), temperatura (ANDRADE *et al.*, 2022), e até mesmo leveduras podem acarretar alterações de cor de antocianinas (ECHEVERRIGARAY *et al.*, 2019). Nas plantas a

estabilização das antocianinas ocorre pelo processo de copigmentação, onde espécies químicas coradas interagem entre si, ou com outros compostos incolores, como os flavanóis, flavonas, metais, ácidos fenólicos e derivados, e assim formam complexos antocianina-copigmentos de forma corada (FREITAS *et al.*, 2019).

Albarici *et al.* (2006) explicam que as moléculas de antocianinas se apresentam na forma cátion flavílio, de cor vermelha, em meios com pH abaixo de 3,0. Bordignon Junior *et al.* (2009), ao verificarem a estabilidade das antocianinas do morangueiro por espectrofotometria, relataram que em pH 1,0 e pH 3,0, os espectros mostraram o equilíbrio ácido-base de protonação da estrutura do cátion flavílio, enquanto no extrato submetido a pH 4,5 a coloração vermelha ficou menos intensa.

Assim, com o aumento do pH do meio uma série de reações podem ocorrer, levando a uma redução da intensidade da cor. Isto ocorre pelo fato do cátion flavílio sofrer um ataque nucleofílico da água, formando uma pseudobase ou carbonil incolor, que predomina em pH 4 a 6. Em seguida, com o pH próximo a 6, o carbonil sofre uma reação de tautomerização, que forma a chalcona incolor, esta é uma reação irreversível, pois o anel heterocíclico da antocianina sofre uma ruptura (ALBARICI *et al.*, 2006; FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2021). Além disso, outra reação que pode ocorrer em soluções com pH neutro e básico é a desprotonação do cátion de flavílio, dando origem aos pigmentos violeta e azul. Ou seja, em pH acima de 6,0 o cátion flavílio perde prótons e origina a forma da base quinoidal de cor púrpura claro. Já em valores de pH acima de 9,0 perde outro próton e dá origem a uma base ionizada de cor azul escuro (ALBARICI *et al.*, 2006).

As antocianinas também apresentam alteração de coloração na presença de sulfitos, agentes muito utilizados na produção de bebidas fermentadas por sua ação antioxidante e antibacteriana (ENARU *et al.*, 2021; MALACRIDA *et al.*, 2006). A alteração da cor pode resultar na formação de componentes incolores, quando os sulfitos estão na posição C-2 ou C-4 do cátion flavílio, promovendo a formação de estruturas derivadas do enxofre que são incolores, no entanto, esta é uma reação reversível. Para reverter esta ação que promove alteração da cor, pode-se diminuir o pH pela adição de ácidos, que contribui para a recuperação parcial da coloração das antocianinas pela liberação de SO₂ (CAVALCANTI *et al.*, 2011; ENARU *et al.*, 2021).

Remini *et al.* (2018) explica que a presença de dióxido de enxofre também pode levar a um ataque nucleofílico na posição C-4 do íon oxônio (cátion flavílio) pelo íon bissulfato carregado negativamente, que provoca a perda de cor das antocianinas. Na produção de

vinhos, de acordo com Dergal (2006), a concentração de SO₂ tem uma forte atuação na velocidade de descoloração do vinho tinto, no entanto, deve-se notar que essas mesmas formas sulfônicas simultaneamente exercem um efeito estabilizador na ligação glicosídica e impedem a hidrólise da antocianina.

Diante do exposto, os frutos de araçá-vermelho apresentam potencial de utilização de forma inovadora em diferentes produtos, incluindo fermentados de frutas, uma vez que possuem uma composição química interessante e uma cor atrativa. No entanto, a elaboração de uma bebida fermentada a partir do araçá-vermelho torna-se desafiadora, do ponto de vista científico e tecnológico, devido aos efeitos que os aditivos utilizados em diferentes etapas do processo podem exercer sobre as antocianinas, afetando diretamente a aparência do produto e as suas propriedades bioativas.

2.3 FERMENTADOS DE FRUTAS

A utilização da fermentação alcoólica pode ser uma alternativa de uso de excedentes da fruticultura, possibilitando o aumento da vida de prateleira e a diversificação do uso de frutas tradicionalmente consumidas *in natura* (SILVA *et al.*, 2017; LOPES *et al.*, 2019). Os fermentados de frutas mais conhecidos e disponíveis no mercado mundial são os vinhos, elaborados a partir da uva, e as sidras, produtos obtidos a partir da fermentação da maçã. Entretanto, ainda é incipiente a utilização de frutas não convencionais em processos fermentativos, o que pode agregar valor às matérias-primas, em especial devido à sua composição química e aos potenciais benefícios conferidos à saúde dos consumidores dessas bebidas (LOPES *et al.*, 2019).

Nesse sentido, estudos na área de fermentação têm explorado o uso de frutas não convencionais, em especial frutas nativas regionais ou exóticas, para a elaboração de fermentados de frutas como, fermentado de maracujá da caatinga (SANTOS *et al.*, 2021), espinheiro chinês (LIU *et al.*, 2018), groselha preta (KELANNE *et al.*, 2022), morango, damasco, pêssego, ameixa e cereja doce (ČAKAR *et al.*, 2019), framboesa preta (CHO *et al.*, 2013), melão (BESSA *et al.*, 2018), pitaya (JIANG *et al.*, 2020), uvaia (FERREIRA *et al.*, 2024), entre outras. Assim, a elaboração dessas bebidas se dá pelo interesse em explorar o potencial nutricional, sensorial e bioativo de frutas subutilizadas, além de colaborar na agregação de valor às cadeias produtivas para a agroindústria (RUFINO *et al.*, 2010).

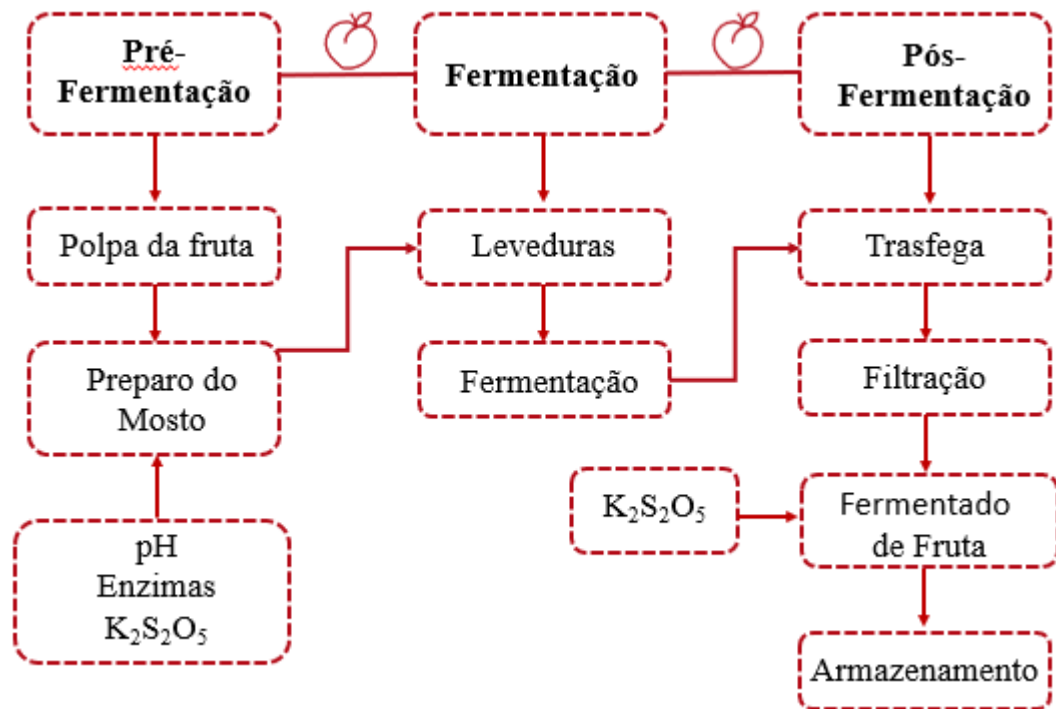
São variadas as formas de produção de bebidas alcoólicas, por exemplo, licores, fermentados, destilados, entre outros, e cada uma apresenta tecnologias específicas de

elaboração, com normas estabelecidas em legislação (BRASIL, 2009; BRASIL, 2022). De acordo com o decreto N° 6.871, de 4 de junho de 2009, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas no Brasil, o fermentado de fruta é obtido pela fermentação alcoólica do mosto de fruta sã, fresca e madura de uma única espécie, do respectivo suco integral ou concentrado, ou polpa, que poderá nestes casos ser adicionado de água. Assim, a bebida obtida por fermentação alcoólica de frutas deve ser denominada “*Fermentado de*” seguido do nome da fruta utilizada para a sua obtenção (BRASIL, 2009). Em 2012, houve uma complementação dos padrões de identidade e qualidade das bebidas alcoólicas fermentadas, a partir da Instrução Normativa do MAPA N°34, de 29 de novembro de 2012 (BRASIL, 2012). De acordo com esta legislação, a bebida fermentada deve ser obtida a partir de uma única fruta, não podendo haver misturas de espécies e não devem ser adicionados ingredientes que alterem as características sensoriais naturais da bebida, salvo casos previstos na legislação. Ademais, o produto final deve se enquadrar nos parâmetros de identidade e qualidade estabelecidos nesta mesma instrução normativa.

2.3.1 Elaboração de fermentados de frutas

A elaboração de fermentados de frutas compreende três importantes etapas, pré-fermentação, fermentação e pós-fermentação, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Etapas do processo de elaboração de fermentados de frutas.



Fonte: Adaptado de Venturini Filho (2016).

Durante essas etapas ocorrem inúmeras transformações bioquímicas, que influenciam a qualidade dos fermentados de fruta, impactando especialmente os parâmetros de cor das bebidas, e estão relacionadas ao tipo de substrato/pigmento(s) vegetal, além dos aditivos utilizados (PŁOTKA-WASYLKA *et al.*, 2018). Assim, os principais tratamentos empregados na produção de fermentados de frutas serão discutidos nas subseções seguintes.

2.3.1.1 Pré-fermentação

A etapa pré-fermentativa tem início com o processo de obtenção da polpa de fruta, empregando diferentes equipamentos, como o uso de despoldadeira (LIU *et al.*, 2018; VENTURINI FILHO; 2016) ou até mesmo feito de forma manual (MAEDA; ANDRADE, 2003). Posteriormente, é realizada a adição de aditivos e coadjuvantes para o tratamento do mosto, incluindo enzimas pectinolíticas, que aumentam o rendimento na extração do suco e promovem a diminuição da viscosidade (JIANG *et al.*, 2020; UENOJO *et al.*, 2007); agentes conservantes, como o metabissulfito de potássio ($K_2S_2O_5$), que apresentam ação antibacteriana e antioxidante (CASSINO *et al.*, 2021; VARO *et al.*, 2022); além de

reguladores de acidez, que promovem a estabilização das bebidas, impactando diretamente na sua cor e no crescimento da levedura no meio fermentativo (LIU *et al.*, 2015).

Dentre os aditivos permitidos pela legislação brasileira para os fermentados de fruta, constantes na Resolução CNS/MS nº 04/1988 e na Resolução RDC nº 397/2020, o ácido málico e o ácido cítrico (*quantum satis*) são os reguladores de acidez mais empregados para essas finalidades nos substratos da fermentação. Por outro lado, o metabissulfito de potássio é um dos agentes de conservação mais empregados, devido a sua ampla utilização em trabalhos científicos e em escala industrial, devendo respeitar a concentração máxima de 0,01 g/ 100mL (ANVISA, 2020).

No entanto, a utilização desses tratamentos inspira cuidados em especial quando se utilizam frutas que apresentam na sua composição pigmentos, como as antocianinas. Nesse sentido, pesquisas têm avaliado diferentes parâmetros durante a elaboração de fermentados alcoólicos de frutas que apresentam antocianinas na sua composição, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Condições pré-fermentativas na elaboração de fermentados de frutas contendo antocianinas.

Pré-fermentação					
Frutas	Agente de conservação	Pectinase	pH (Inicial – Final)	Levedura	Referências
Espinheiro Chinês	Dióxido de enxofre sólido (80 mg/L)	40 mg/L 22 ± 1 °C por 24 h	2,38 - 2,51	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Liu <i>et al.</i> (2018)
Mirtilo	Bissulfito de sódio (130 mg/kg) Copigmentos (0,2 g/L)	-	-	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	Sun <i>et al.</i> (2022)
Roselle	Metabissulfito de potássio 5% (p/v)	-	3,8 -	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	Ai <i>et al.</i> (2021)
Uva Kanghong	Metabissulfito de potássio (143 mg/L)	50 mg/L	-	-	Gao <i>et al.</i> (2022)
Mirtilo	Metabissulfito de potássio (50 mg/kg)	-	- 3,68	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	Li <i>et al.</i> (2020)
Framboesa preta	Metabissulfito de potássio (50 mg/kg)	20 mg/L	-	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	Liu <i>et al.</i> (2020)
Sabugueiro	Tratamento térmico (60 – 70 °C) Metabissulfito de potássio	0,01 g	- 4,19	<i>Sacharomces bayanus</i>	Terzić <i>et al.</i> (2022)

	(10%) Dióxido de enxofre (50mg/L)				
Amora preta	Dióxido de enxofre (60 mg/L)	30 µL/L	-	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Wang <i>et al.</i> (2015)
Morango	Tratamento térmico (97 °C por 30 s)	0,25% (v/v)	3,4 – 3,5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Torulaspora delbrueckii</i> <i>Biodiva</i>	Yang <i>et al.</i> (2021)
Morango	Tratamento térmico (90 °C por 3 min) Sulfato de magnésio (0,2%) Fosfato monopotássio (0,3%) Sulfato de amônio (0,4%)	-	3,32 – 3,30	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Hornedo-Ortega <i>et al.</i> (2016)
Acaí e cupuaçu	Tratamento térmico (65 °C por 30 min) Metabissulfito de sódio (200 mg/L)	-	-	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Pereira <i>et al.</i> (2014)
Jambolão	Metabissulfito de potássio (30 mg/L)	-	- 3,6	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Pichia gummiguttiae</i>	Venugopal <i>et al.</i> (2017)
Jaboticaba	Metabissulfito de potássio (100 mg/L)	-	-	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Lima <i>et al.</i> (2023)
Mirtilo	Metabissulfito de potássio (0,15 g/kg)	0,1%	-	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Liu <i>et al.</i> (2023)

O tratamento do mosto possui algumas finalidades como, controlar a ação de microrganismos indesejáveis com a aplicação de tratamento térmico e diminuição do pH, evitar reações de oxidação com a aplicação do metabissulfito, e quando necessário, reduzir a turbidez do mosto com o auxílio de pectinase (DIESLER *et al.*, 2019; OSETE-ALCARAZ *et al.*, 2022).

A aplicação de pectinase na produção de fermentados alcoólicos de frutas auxilia na desestruturação da parede celular do vegetal, promovendo a liberação de compostos fenólicos e seus flavonoides, além de aumentar o rendimento do mosto. A ação desta enzima consiste em romper as ligações dos polissacarídeos e proteínas estruturais encontrados na parede celular dos vegetais, o que leva a liberação de compostos químicos (GRANATO *et al.*, 2022; TELES, 2019). Um estudo realizado por Osete-Alcaraz *et al.* (2022) reforça a influência da pectinase em fermentados alcoólicos, pois vinhos que receberam aplicação de pectinase durante a fermentação apresentaram uma coloração mais intensa, devido ao aumento

significativo no índice de fenólicos totais ($49,1 \pm 0,20$ IFT) e antocianinas totais ($626,7 \pm 32,50$ mg/L).

Nos dados apresentados no quadro 5 nota-se que o pH da maioria dos trabalhos permaneceu com valores acima de 3,0, indicando condições não ideais para a manutenção da estabilidade das antocianinas. Apenas o estudo conduzido por Liu *et al.* (2018), com fermentado de espinheiro chinês utilizou um mosto com valor de pH de 2,38. Por outro lado, Cho *et al.* (2013) identificaram um leve aumento no teor de antocianinas em fermentado alcoólico de framboesa ($9,8 \pm 0,9$ mg CE/100 mL) em comparação ao suco das frutas frescas ($8,8 \pm 0,2$ mg CE/100 mL), no entanto o pH de ambos estavam entre 3,36 e 3,64, o que indica que as antocianinas se mantiveram estáveis na produção do fermentado de framboesa.

No quadro 5, pode-se observar também que a maioria dos estudos empregaram como agentes de conservação sulfitos, como o dióxido de enxofre ou o metabissulfito de potássio/sódio, com concentrações bem variadas (30 a 200 mg/L). Alguns utilizaram esses agentes em combinação ao tratamento térmico, enquanto apenas um estudo empregou somente a pasteurização para a conservação da bebida. Os sulfitos podem ser utilizados em diferentes etapas na elaboração de fermentados alcoólicos, sendo mais empregados na etapa pré-fermentativa para evitar a oxidação, e no término do processo, com a intenção de estabilizar os fermentados, pois os sulfitos apresentam propriedades antissépticas contra microrganismos indesejáveis, evitando que ocorra fermentação malolática e acética, evitando alterações ou acidentes nas garrafas (ENARU *et al.*, 2021; GABRIELE *et al.*, 2018). No entanto, estes agentes de conservação podem reagir com as antocianinas monoméricas resultando na modificação da intensidade e da tonalidade da cor dos frutos, aumentando a quantidade de pigmentos poliméricos. Esta polimerização ocorre pela interação direta das antocianinas com compostos fenólicos formando pigmentos mais estáveis, que favorecem a formação de uma coloração mais acastanhada (ALVES, 2021; GABRIELE *et al.*, 2018; VARO *et al.*, 2022).

Zhang *et al.* (2022) avaliaram a degradação de cianidina-3-glicosídeo com aplicação de ácido ascórbico, cisteína, glutatona reduzida e sulfito de sódio como antioxidantes na elaboração de fermentado de morango chinês, indicando possíveis caminhos que levam a degradação de antocianinas, visto que os antioxidantes utilizados para prevenir sua oxidação acabaram estimulando sua degradação. Assim, a adição de SO₂ e seus sais em fermentados de frutas, pode promover a desestabilização das antocianinas dependendo das quantidades utilizadas e da etapa do processo em que ocorre a adição, causando uma desorganização na estrutura nas ligações duplas do pigmento, o que resulta na modificação da cor da bebida,

sendo que concentrações muito elevadas, maiores que 10 g/kg, podem causar a degradação permanente das antocianinas (CAVALCANTI *et al.*, 2011; ENARU *et al.*, 2021; FENNEMA; DAMODARAN; PARK, 2010; MALACRIDA *et al.*, 2006;).

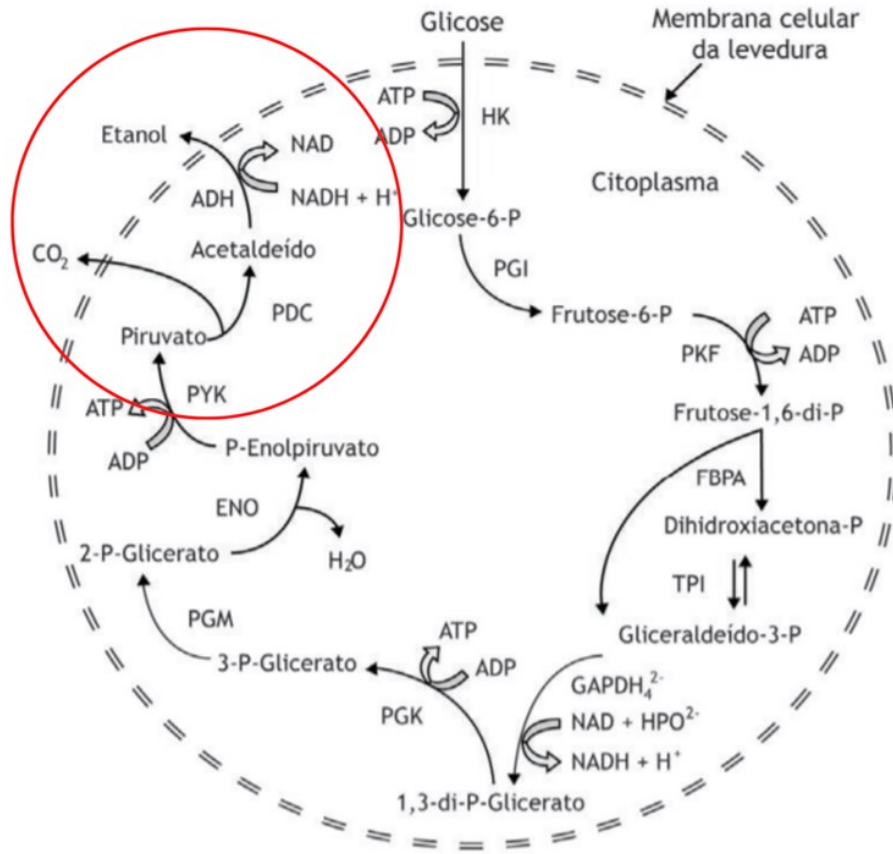
Vale ressaltar que o metabissulfito de potássio é um sal de origem inorgânica que se dissocia em meio ácido para gerar dióxido de enxofre. No entanto, deve-se ter um controle sobre a quantidade de dióxido de enxofre quando aplicado nos alimentos. Em vinhos, doses excessivas podem provocar efeitos negativos como, alterações sensoriais no produto, neutralização e defeitos dos aromas (ENARU *et al.*, 2021; GUERRERO *et al.*, 2015; VARO *et al.*, 2022;). Embora os limites para adição de conservantes em vinhos sejam bem delimitados pela O.I.V - *Office International de la Vigne et du Vin*, os fermentados de fruta também seguem legislações de acordo com o seu país de origem. Nesse sentido, a aplicação de conservantes em fermentados de frutas não apresenta uma padronização global. A determinação de padrões nos limites de aditivos de bebidas fermentadas além de ampliar a venda desses produtos no comércio internacional, também contribuirá com a segurança e qualidade na produção dessas bebidas não convencionais. Dessa forma, novos estudos que avaliem a adição de aditivos em fermentados de frutas são necessários para que futuramente possam contribuir para uma legislação com padrão internacional (SEGTOEWICK *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2008).

2.3.1.2 Fermentação

Considerada a técnica mais antiga para produção de bebidas, a fermentação alcoólica gera subprodutos como etanol, compostos carbonílicos, compostos voláteis, ésteres etílicos, acetatos, monoterpenos, fenóis voláteis, compostos de enxofre, ácidos orgânicos e açúcares (MACEDO *et al.*, 2021).

O processo de fermentação alcoólica é iniciado pela adição de leveduras ao mosto, geralmente da espécie *Saccharomyces* (TERZIĆ *et al.*, 2022). As leveduras iniciam a transformação do açúcar em etanol, liberando com este processo o CO₂, ácidos orgânicos e glicerol (MANDUJANO *et al.*, 2022). Bioquimicamente, os açúcares entram na via glicolítica sendo convertidos em piruvato. O piruvato é descarboxilado sendo transformado em acetaldeído e liberando CO₂. Em seguida o acetaldeído é reduzido a etanol, pela enzima álcool-desidrogenase, ao mesmo tempo em que acontece a oxidação da coenzima NADH (GUIDINI, 2013; MĂRGĂOAN *et al.*, 2020). A Figura 6 mostra um esquema gráfico do metabolismo da fermentação alcoólica realizado pelas leveduras do gênero *Saccharomyces*.

Figura 6 - Esquema do metabolismo da fermentação alcoólica realizado pelas leveduras do gênero *Saccharomyces*, com destaque para formação de etanol a partir do piruvato.



Fonte: Adaptado de Bastos (2010).

Além da produção de etanol, as leveduras são responsáveis pela produção de compostos aromáticos, de grande importância para a qualidade do produto. Estudos tem focado no melhoramento genético das cepas, a fim de desenvolver leveduras mais tolerantes às condições do meio e com diferentes propriedades aromáticas (DZIALO *et al.*, 2017), além de realizar a inoculação com cepas mistas, com o objetivo de melhorar a complexidade de fermentados alcoólicos, aumentando a diversidade de compostos químicos (ENGLEZOS *et al.*, 2022).

Fatores nutricionais, pH do meio e a temperatura do processo são parâmetros importantes na fermentação, pois afetam o metabolismo das leveduras promovendo uma boa condução do processo. O teor de nitrogênio está relacionado com a concentração de etanol produzido pelas leveduras e com a produção de acetados de álcoois e ésteres etílicos (ROLLERIO *et al.*, 2014).

O baixo pH (1,8-2,5) do meio no processo fermentativo pode ocasionar um estresse fisiológico sobre as leveduras, reduzindo o seu crescimento celular, bem como a velocidade de fermentação (CARLOS *et al.*, 2011; DIÓGENES *et al.*, 2021). Por outro lado, a variabilidade entre as cepas de leveduras também exerce uma influência significativa no crescimento celular. Liu *et al.* (2015) conduziram um estudo sobre o impacto do pH inicial (4,50, 3,0, 2,75 e 2,50) nas características de crescimento e propriedades fermentativas em diversas cepas de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*. Os resultados revelaram que quando submetidas ao estresse (pH 2,50), cada cepa demonstrou uma resposta adaptativa única na fase lag, impactando a tendência de metabolização de açúcar. Enquanto algumas cepas mantiveram uma constância na metabolização de açúcar nos pHs 3,0 e 4,50, outras apresentaram variações notáveis entre os pHs 2,75 e 2,50.

Já a temperatura afeta principalmente a concentração de aromas, podendo volatilizá-los (ROLLER *et al.*, 2014). Dependendo da espécie, as leveduras empregadas na produção de fermentados de frutas possuem uma faixa de temperatura ideal entre 18 a 30 °C, pois nesta faixa há uma promoção da retenção dos compostos voláteis (KUMSA *et al.*, 2020). No entanto, vale ressaltar que as leveduras são organismos vivos e a temperatura também tem influência sobre sua sobrevivência, pois exerce um impacto no sistema metabólico, em relação à produção de metabólitos primários, secundários e velocidade do processo (DU *et al.*, 2022).

Frutas contendo antocianinas, quando utilizadas em processos fermentativos, podem apresentar alteração de cor devido à instabilidade das antocianinas em relação à temperatura e demais condições do processo. No estudo conduzido por Hornedo-Ortega *et al.* (2017) foram elaborados fermentados alcoólicos e acéticos utilizando morangos como matéria-prima. A fermentação alcoólica foi realizada empregando uma cepa de *Saccharomyces cerevisiae*, enquanto a fermentação acética contou com uma mistura de bactérias acéticas. Durante o processo fermentativo, a temperatura aplicada foi de 29°C para a fermentação alcoólica e 31°C para a fermentação acética. Ao avaliar o efeito da fermentação na composição das antocianinas foi observada uma redução de 19% das antocianinas na fermentação alcoólica e 91% sobre a fermentação acética.

2.3.1.3 Pós fermentação

Com o fim da fermentação, a bebida apresenta-se turva com sedimentos que precisam ser retirados para conferir qualidade sensorial e estabilidade ao produto. O

sedimento encontrado ao fim da fermentação é chamado de borra, e nela encontram-se principalmente os resíduos vegetais e células de leveduras (ISEPPI *et al.*, 2021; PÉREZ-BIBBINS *et al.*, 2015). Os tratamentos realizados para retirar a borra são a trasfega e variados processos de clarificação. A trasfega consiste na separação da parte líquida da parte sedimentada da bebida, realizando a transferência da parte líquida para outro recipiente (RIZZON; DALLAGNOL, 2007).

A escolha do agente clarificante está relacionada com a natureza do substrato e o que se objetiva remover durante o processo (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006). Lembrando que, ao remover a borra dessas bebidas, compostos de valor bioativo também podem ser removidos, como compostos fenólicos, antocianinas e taninos. Conforme estudo conduzido por Erkan-Koç *et al.* (2015), verificou-se que os clarificantes à base de proteínas alcançaram uma redução mais significativa nos compostos fenólicos, com a gelatina apresentando uma redução de (23,8%), seguida pela caseína (19,6%) e albumina (14,6%). Por outro lado, os clarificantes de polissacarídeos demonstraram uma redução menor nos fenólicos, com a goma xantana (7,9%) e a quitosana (7,6%) exibindo resultados similares à clarificação por sedimentação natural (7,9%), em que a perda dos compostos fenólicos ocorreu devido à oxidação. Ao avaliar as antocianinas monoméricas em relação à cor do produto, a sedimentação natural apresentou uma perda de 10%, resultado semelhante ao encontrado pelos agentes de polissacarídeos, goma xantana (11,1%) e quitosana (11,6%), por outro lado, os clarificantes de proteínas apresentaram maiores reduções para antocianinas monoméricas, caseína (27,2%), albumina (24,4%) e gelatina (19,4%).

Como mencionado anteriormente, o uso de metabissulfito de potássio após a fermentação também é uma prática comumente empregada, que previne o desenvolvimento microbiano indesejado, estabilizando e melhorando as características sensoriais de vinhos (VARO *et al.*, 2022). No entanto, este conservante ao final do processo fermentativo pode ocasionar efeitos negativos sobre a cor do produto. Varo *et al.* (2022), descrevem que a adição de metabissulfito de potássio ao final da fermentação de fermentados de mirtilo promoveu uma tonalidade de cor menos intensa ao produto, devido à diminuição das antocianinas monoméricas e ao aumento de pigmentos poliméricos.

Desta forma, a elaboração de bebidas fermentadas a base de araçá-vermelho torna-se uma alternativa promissora para o incentivo de consumo e processamento desta espécie nativa subutilizada, ao mesmo tempo que evidencia a necessidade de pesquisas para o desenvolvimento de produtos de qualidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA E PROCESSAMENTO DOS FRUTOS

Os frutos maduros de araçá-vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine), da safra de 2022, foram coletados na cidade de Urupema (Santa Catarina, Brasil) (28°05'31.0"S 49°56'12.3"W) provenientes da produção doméstica local. Os frutos foram higienizados com uma solução de hipoclorito de sódio (100 mg/L) e posteriormente utilizou-se uma centrífuga de frutas (Britânia Juicer 1000, Britânia, Brasil) para separar as partes comestíveis das sementes dos frutos. O material obtido das partes comestíveis foi homogeneizado, armazenado em sacos de polietileno e congelado, sendo mantido a $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até o momento da preparação dos mostos.

Uma amostra da planta foi encaminhada ao Herbário FLOR da Universidade Federal de Santa Catarina para depósito, onde recebeu um número de tombo 78016. Conforme a lei nº 13.123/2015, o presente estudo foi cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético (SisGen) sob o Cadastro nº AC3EAF4.

3.2 PREPARAÇÃO DOS MOSTOS E PROCESSO DE FERMENTAÇÃO DO ARAÇÁ-VERMELHO

Para a elaboração de fermentados de fruta é comum a utilização de diferentes tratamentos no mosto que auxiliam tanto na condução do processo fermentativo, quanto na manutenção das características físicas e químicas dos fermentados. Nesse sentido, aplicou-se a pectinase para obter melhor rendimento da polpa, o ácido cítrico, como regulador de acidez, e o metabissulfito de potássio, como agente de conservação e estabilização do processo.

Os mostos foram elaborados de acordo com a metodologia proposta por Varo *et al.* (2022), com modificações. Em todos os mostos ocorreu o tratamento enzimático com pectinase de *Aspergillus aculeatus* (Sigma-Aldrich, Saint Louis, Missouri, E.U.A) na concentração de 0,1% (v/v) por 2 horas em temperatura ambiente ($25^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$), sendo ao final do tratamento inativada em banho de gelo por 15 minutos. Após o tratamento enzimático, o mosto passou por uma centrifugação a 4000 rpm (1968 g) por dez minutos, duas vezes (Hermle Z 200 A, Wehingen, Alemanha) sendo filtrado também em papel filtro quantitativo.

Todos os mostos foram adicionados de cultura comercial de *Saccharomyces bayanus* (Red Star Premier Blanc, Langerbruggekaai, Bélgica) (0,5 g/L). Foram elaboradas seis

formulações (Quadro 6), três delas utilizando o pH original da polpa (pH 3,0) e outras três com ajuste do pH para 2,8 com ácido cítrico (conforme testes preliminares de tolerância da levedura em mostos ajustados com pH 2,5 e pH 2,7). O metabissulfito de potássio foi adicionado em todas as formulações, mas com três variações de adição nas etapas de elaboração dos fermentados: 100 mg/L na etapa pré-fermentativa (MI); 50 mg/L na etapa pré-fermentativa + 50 mg/L na etapa pós-fermentativa (MP); e 100 mg/L na etapa pós-fermentativa (MF). A fermentação foi conduzida em fermentadores de vidro em incubadora BOD (TE-371, Tecnal, Piracicaba, Brasil) a $21^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$. O processo fermentativo foi acompanhado a cada dois dias, através de medidas de sólidos solúveis totais (SST) e verificação da liberação de CO_2 a partir da pesagem dos fermentadores até peso constante. Ao final da fermentação os fermentados foram refrigerados ($5^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$) e filtrados, sendo que os fermentados MF foram submetidos ao tratamento pós-fermentativo com adição de metabissulfito de potássio. Todas as amostras foram armazenadas em frascos de polietileno e em seguida refrigeradas ($5^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Quadro 6 - Formulações de fermentados de araçá-vermelho com variações no pH e na adição de metabissulfito de potássio.

Tratamentos	pH inicial do mosto	Concentração de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ – pré-fermentativa	Concentração de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ – pós-fermentativa
MI	3,0	100 mg/L	0,0 mg/L
MP	3,0	50 mg/L	50 mg/L
MF	3,0	0,0 mg/L	100 mg/L
MI	2,8	100 mg/L	0,0 mg/L
MP	2,8	50 mg/L	50 mg/L
MF	2,8	0,0 mg/L	100 mg/L

Legenda: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ na etapa pós-fermentativa.

3.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E PERFIL DE ÁCIDOS ORGÂNICOS E AÇÚCARES

A determinação do pH foi realizada em potenciômetro (Tec-7, Tecnal, Piracicaba, Brasil). O teor de sólidos solúveis totais (SST °Brix) foi determinado em refratômetro digital (HI96801, Hanna Instruments, Barueri, Brasil). A acidez total (mEq/L) foi realizada de acordo com o método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Para determinação de ácido

ascórbico (mg/mL) foi utilizado o método de Tillmans (AOAC, 1990). A análise de dióxido de enxofre total (mg/L) foi realizada pelo método Ripper (Rizzon, 2010). O teor alcoólico (% v/v) foi avaliado seguindo a metodologia proposta pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2012).

Para a determinação dos ácidos orgânicos (tartárico, fórmico, cítrico, málico, glicólico, láctico, succínico e acético) a análise foi realizada de acordo com Brugnerotto *et al.* (2019), enquanto a determinação dos açúcares (glicose, frutose e sacarose) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Rizelio *et al.* (2012), com modificações. As amostras foram submetidas a centrifugação no momento da análise a 9,861 g por 10 minutos (MiniSpin® plus, Hamburg, Germany). Após a centrifugação, alíquotas do sobrenadante foram apropriadamente diluídas e então submetidas à análise. Em ambas as análises foi utilizado um sistema de eletroforese capilar (modelo 7100, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, E.U.A.), equipado com detector de arranjo de diodos e software HP ChemStation® (rev A.06.01) para aquisição e tratamento dos dados. Todas as análises foram realizadas em três réplicas independentes. Os ácidos orgânicos alifáticos foram expressos em (mg/L) e os açúcares em (g/100 mL).

3.4 ANÁLISES DE COR

3.4.1 Parâmetros CIELab

A escala de cor CIELab foi usada para medir os parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* e h° dos fermentados de araçá-vermelho utilizando um colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-400, Osaka, Japão), ajustado para operar com iluminante D65 e ângulo de observação de 10° , previamente calibrado. O parâmetro L^* indica luminosidade de 0 a 100, que varia do preto ao branco, já o parâmetro a^* mostra a variação do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), enquanto o b^* pode variar do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$). O parâmetro C^* indica a cromaticidade da cor, já o parâmetro h indica tonalidade da cor. Também foi realizada a determinação de ΔE^* que indica a diferença total de cor, calculada conforme a equação 1 (LI *et al.*, 2020). As leituras foram realizadas em cubeta de vidro, em triplicata.

$$\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (1)$$

Onde ΔL^* é a diferença de luminosidade entre as amostras, Δa^* é a diferença do parâmetro a^* entre as amostras, e o Δb^* é a diferença do parâmetro b^* entre as amostras.

3.4.2 Medidas de intensidade da cor

A intensidade da cor foi obtida pela soma das absorvâncias correspondentes medidas a 420, 520 e 620 nm (LIU *et al.*, 2018). Essas absorvâncias foram medidas usando cubeta de quartzo, através de medição em espectrofotômetro UV-VIS (modelo U-1800, Hitachi, Japão).

Além disso, foram calculadas as porcentagens do índice colorimétrico das cores amarelo, vermelho e azul, obtidas usando os valores de absorvância a 420, 520 e 620 nm (GLORIES, 1984), utilizando as equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$\text{Índice colorimétrico Amarelo (\%)} = (A_{420}/IC) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Índice colorimétrico Vermelho (\%)} = (A_{520}/IC) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Índice colorimétrico Azul (\%)} = (A_{620}/IC) \times 100 \quad (4)$$

Onde A é a absorvância medida em 420, 520 e 620 nm, IC é a intensidade de cor, sendo a soma das absorvâncias correspondentes medidas ($A_{420} + A_{520} + A_{620}$).

3.5 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, ANTOCIANINAS MONOMÉRICAS TOTAIS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*

3.5.1 Avaliação dos compostos fenólicos totais

As análises foram realizadas em espectrofotômetro UV-VIS (modelo U-1800, Hitachi, Japão). O teor de compostos fenólicos totais foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965), sendo os resultados expressos em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por L de amostra.

3.5.2 Avaliação das antocianinas monoméricas totais

A quantificação das antocianinas monoméricas totais foi realizada de acordo com o método proposto por Giusti e Wrolstad (2001), que utiliza o método de diferença de pH. A

reação é realizada em pH 1,0 e pH 4,5 e as antocianinas se apresentam nas formas de cátion flavílio e hemiacetal incolor, respectivamente. Para isso, foram preparadas as soluções tampões de cloreto de potássio 0,025 M (pH 1,0) e acetato de sódio 0,4 M (pH 4,5). Após, foram preparadas as amostras contendo o extrato em cada uma das soluções tampões e posteriormente deixadas em repouso por 15 min e em seguida, realizada a leitura a 520 e 700 nm em espectrofotômetro UV-VIS (modelo U-1800, Hitachi, Japão). O branco foi analisado utilizando água destilada. As análises foram realizadas em triplicata ($n=3$) e os cálculos de acordo com a equação 5. Os resultados foram expressos em mg equivalente de cianidina-3-glicosídeo por L de fermentado de araçá-vermelho.

$$\text{Antocianinas monoméricas totais} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times MM \times FD \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (5)$$

Onde A é a absorvância = $(A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{\text{pH } 1,0} - (A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{\text{pH } 4,5}$, MM é a massa molecular da cianidina-3-glicosídeo ($449,2 \text{ g mol}^{-1}$), FD é o fator de diluição da amostra, ϵ é absorvância molar da cianidina-3-glicosídeo ($26.900 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 1000 é o fator de conversão de g para mg e l é o comprimento de onda em cm.

3.5.3 Avaliação da capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi determinada pelos métodos de atividade de captura do radical livre ABTS+ (RE *et al.*, 1999), DPPH (BRAND-WILLIAMS; CUVÉLIER; BERSET, 1995) e pelo potencial antioxidante redutor férrico (FRAP) (BENZIE; STRAIN, 1996). Os resultados dos ensaios de ABTS, DPPH e FRAP foram expressos em μM equivalente de Trolox (TEAC) por mL de amostra.

3.6 ANÁLISES CROMATOGRÁFICAS

3.6.1 Polifenóis individuais

Para determinação dos polifenóis individuais, as amostras dos fermentados de araçá-vermelho foram submetidas a uma extração líquido-líquido de acordo com Burin *et al.* (2014), onde 5 mL de amostra foram extraídas duas vezes com 10 mL de acetato de etila durante 3 minutos em agitador de vórtex. As fases orgânicas foram unidas e evaporadas em rota-

evaporador (Fisatom Modelo 803, Brasil) e posteriormente ressuspensas em 3 mL de uma solução de metanol: água (50:50 v/v), filtradas em membrana (Unifil) PTFE de 0,22 µm e injetadas no sistema cromatográfico. A quantificação dos polifenóis individuais foi realizada de acordo com Burin *et al.* (2014), com modificações. A análise foi realizada em cromatógrafo líquido (Shimadzu, Kyoto, Japão) equipado com um desgaseificador a vácuo (DGU-20A), sistema de bomba quaternária (LC-20AT) e detector de arranjo de diodos (SPD-M20A). A separação analítica foi realizada em coluna de fase reversa C18 (modelo Shim-pack Shimadzu, Kyoto, Japão) (4,6 mm × 250 mm, 5 µm de tamanho de partículas). Para a análise dos polifenóis individuais (hidroxicinâmicos, hidroxibenzoicos, flavanois e flavonóis) a fase móvel foi composta por água ultrapura: ácido acético (98:2 v/v) (A) e água ultrapura: ácido acético: acetonitrila (58:2:40 v/v/v) (B), com fluxo de 0,9 mL/min. A quantificação do tirosol, catequina, epicatequina e ácidos hidroxibenzoicos (ácidos gálico, protocateico, vanílico e siríngico) foi realizada em 280 nm. Os ácidos hidroxicinâmicos (ácidos cafeico, caftarico e ferúlico) foram quantificados em 320 nm, o ácido p-cumárico foi quantificado em 306 nm. Os flavanois (miricetina e quercetina) em 360 nm. A quantificação foi realizada utilizando curva de calibração por adição de padrão. Os resultados foram expressos em mg/L de amostra.

3.6.2 Antocianinas individuais

Para análise de antocianinas individuais, as amostras foram diluídas em 3 mL de solução água: ácido fórmico (90:10 v/v). Antes da injeção, as amostras foram filtradas em filtro de seringa (Unifil) PTFE de 0,22 µm e na sequência injetadas no sistema cromatográfico. As antocianinas monoglicosídeos (malvidina, cianidina, penidina e petunidina) foram determinadas de acordo com o método descrito por Revilla *et al.* (1999), com fase móvel constituída por água:ácido fórmico (90:10 v/v) como solvente A, e água:metanol:ácido fórmico (45:45:10 v/v/v) como solvente B, taxa de fluxo de 0,8 mL/min com detecção em 520 nm. Os resultados foram expressos em mg/L de amostra.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o software Origin Pro 2022 (OriginLab Co., Northampton, USA). A análise de variância (ANOVA) foi empregada para identificar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras dos diferentes tratamentos

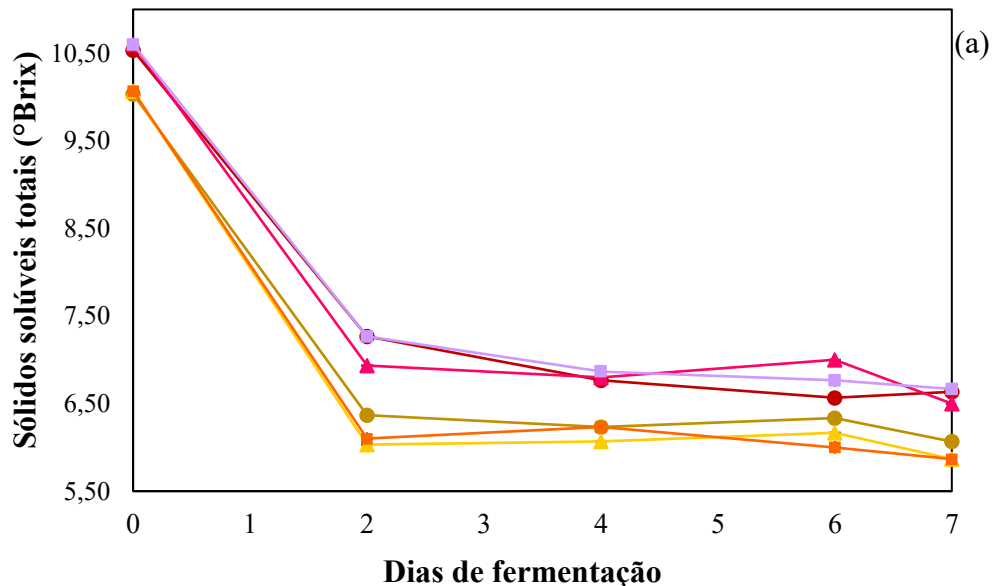
com metabissulfito de potássio, sendo tais diferenças avaliadas por meio do teste de Tukey. A comparação entre os tratamentos com diferentes pH iniciais foi realizada utilizando o teste t-student. Além disso, as análises de componentes principais (ACP) e de agrupamento hierárquico (AAH) foram empregadas para os resultados do perfil fenólico e de antocianinas. Para a AAH, foi empregado o método de agrupamento do vizinho mais próximo e a medida de distância euclidiana.

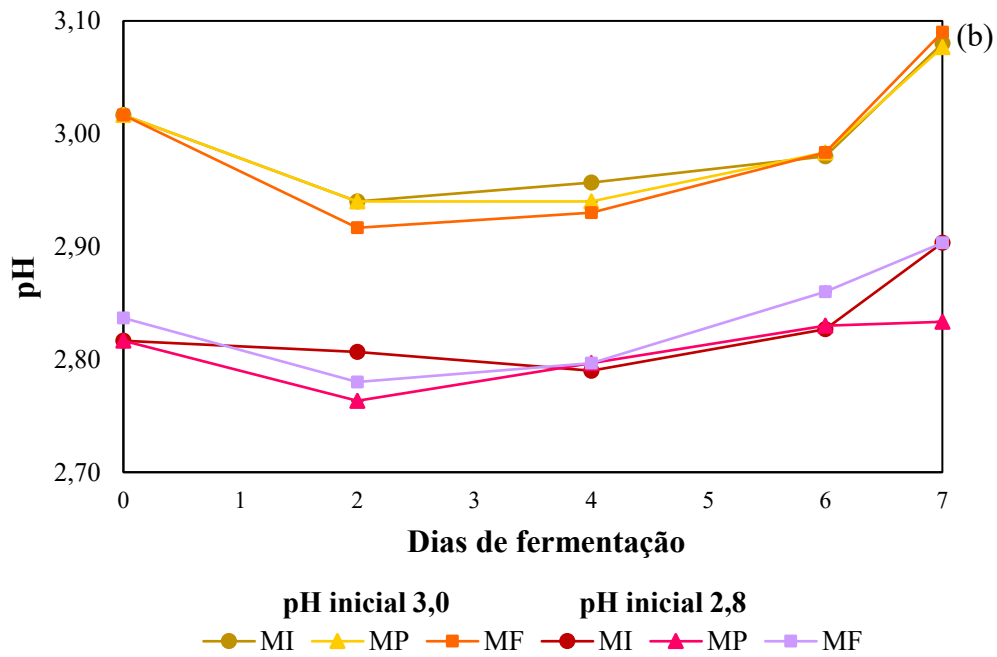
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DO PROCESSO FERMENTATIVO E DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FERMENTADOS DE ARAÇÁ-VERMELHO

O processo fermentativo dos fermentados de araçá-vermelho teve duração de 7 dias, e durante este período avaliou-se o teor de sólidos solúveis totais (SST) e o pH conforme apresentado na (Figura 7).

Figura 7- Acompanhamento do teor de sólidos solúveis totais (a) e do pH (b) durante o processo de fermentação do araçá-vermelho.





Fonte: Próprio autor (2023). MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

As amostras com pH inicial ajustado para 2,8 apresentaram um teor de SST de $10,6 \pm 0,04$ °Brix, ou seja, maior ($p < 0,05$) do que o observado nas amostras com pH inicial de 3,0 ($10,0 \pm 0,02$ °Brix), sugerindo que a adição do ácido cítrico nessas amostras pode ter influenciado nestes resultados. Durante os dois primeiros dias de fermentação, houve uma redução significativa ($p < 0,05$) nos teores de SST em todas as amostras, indicando a metabolização dos açúcares pela levedura e consequente produção de etanol. No entanto, após o segundo dia de fermentação, observou-se um decréscimo deste parâmetro ($p < 0,05$) de forma mais gradual, com estabilização em 7 dias de processo. Ao final da fermentação, as amostras com pH inicial de 3,0 apresentaram, em média, uma redução de 40,6% no teor de SST, enquanto as amostras com pH inicial de 2,8 apresentaram, em média, uma redução de 37,6%. Kelanne *et al.* (2022), ao conduzirem o processo de fermentação em sucos de groselha preta também observaram uma redução em média de 45% no teor de SST. Já Ferreira *et al.* (2024) observaram uma diminuição mais expressiva no teor de SST de fermentados de uvaia, cerca de 50%, submetidos a um tratamento enzimático assistido por ultrassom antes da fermentação. De acordo com Simão *et al.* (2023), fatores como a composição nutricional do mosto, incluindo compostos nitrogenados, minerais e vitaminas, juntamente com os pré-tratamentos, além das condições da fermentação, influenciam diretamente a atividade da

levedura ao longo processo, o que pode justificar as diferenças mencionadas anteriormente entre fermentados elaborados com distintas matérias-primas vegetais.

O pH desempenha um papel fundamental na fermentação, influenciando tanto o crescimento das leveduras como as características químicas e sensoriais dos fermentados (KOKKINOMAGOULOS *et al.*, 2020). A diferença nos valores de pH inicial dos mostos (2,8 e 3,0) influenciou o comportamento desse parâmetro durante o processo fermentativo. Notavelmente, as amostras com pH inicial 3,0 apresentaram uma ligeira diminuição ($p < 0,05$) nos valores de pH entre os dias 2 e 4 enquanto as amostras com um pH inicial 2,8 mantiveram um pH estável ($p > 0,05$) ao longo de todo o processo de fermentação. No último dia de fermentação, observou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) nos valores de pH nas amostras MI, MP e MF com pH inicial de 3,0, atingindo 3,08, 3,08 e 3,09 respectivamente. Diversos fatores podem influenciar o pH durante o processo fermentativo. No estudo realizado por Kokkinomagoulos *et al.* (2020), notou-se que, em fermentados alcoólicos de romã produzidos a 15 °C, o pH final foi igual ao valor inicial da fermentação, enquanto nas amostras fermentadas a 25°C, houve uma redução de 3,12 para 3,05-3,07. Por outro lado, no estudo conduzido por Mena *et al.* (2012), ao investigarem a influência das variedades de romã nos parâmetros físico-químicos de fermentados alcoólicos desta fruta, observaram que o processo fermentativo nas amostras elaboradas com as variedades Wonderful e Coupage resultou em uma diminuição no valor do pH final, atingindo valores de 3,12 e 3,14, respectivamente, enquanto a utilização das variedades Mollar de Elche resultou em fermentados com pH final maior (3,52) do que o valor inicial (3,35). Essas variações observadas nos valores de pH durante a fermentação alcoólica, podem estar relacionadas à processos de formação e decomposição de ácidos orgânicos produzidos pelas leveduras. Adicionalmente, estudos relatam que ao final da fermentação o pH pode apresentar um leve aumento devido a autólise das leveduras, resultante da entrada de produtos celulares na bebida (LIU *et al.*, 2015; MINNAAR *et al.*, 2021).

Em relação à acidez total (Tabela 1), notou-se que as amostras com o pH inicial de 2,8 apresentaram valores superiores ($p < 0,05$) em comparação às amostras com um pH inicial de 3,0. Isso sugere que a adição de ácido cítrico contribuiu para o aumento significativo desse parâmetro nos fermentados de araçá-vermelho. Os resultados encontrados neste estudo são superiores aos observados por Feitosa *et al.* (2023), que relataram uma acidez total de 10,63 mEq/L em fermentados de Murta (*Eugenia gracillima* Kiaersk.), uma fruta pertencente à mesma família do araçá-vermelho. No entanto, os valores encontrados para acidez total dos fermentados de araçá-vermelho estão abaixo do limite mínimo estabelecido pela legislação

brasileira (50 mEq/L) (BRASIL, 2012). Vale ressaltar que as frutas nativas brasileiras, em especial da família Myrtaceae, apresentam características químicas diferenciadas, ainda pouco estudadas, não sendo comumente empregadas para a elaboração de fermentados de frutas comerciais, destacando assim a necessidade do avanço nas pesquisas que envolvam essas espécies nativas, a fim de ampliar e atualizar as regulamentações vigentes.

Tabela 1- Parâmetros físico-químicos dos fermentados de araçá-vermelho.

Tratamentos	pH inicial	Acidez total (mEq/L)	Teor de ácido ascórbico (mg/mL)	SO ₂ total (mg/L)	Teor alcoólico (%)
MI	3,0	20,19 ± 0,00 ^{aB}	13,02 ± 0,00 ^{bA}	1,12 ± 0,23 ^{bB}	3,43 ± 0,7 ^{aA}
MP		20,19 ± 0,00 ^{aB}	10,85 ± 3,07 ^{bA}	2,08 ± 0,23 ^{aA}	3,03 ± 0,05 ^{aA}
MF		18,68 ± 0,71 ^{bB}	17,36 ± 0,00 ^{aA}	2,40 ± 0,23 ^{aA}	3,05 ± 0,06 ^{aA}
MI	2,8	26,25 ± 0,00 ^{aA}	10,85 ± 3,07 ^{bA}	1,28 ± 0,00 ^{bA}	3,07 ± 0,10 ^{aA}
MP		25,24 ± 0,00 ^{bA}	8,68 ± 0,00 ^{bA}	1,92 ± 0,00 ^{abB}	3,05 ± 0,06 ^{aA}
MF		24,74 ± 0,71 ^{bA}	15,19 ± 3,07 ^{aA}	2,56 ± 0,45 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{aA}

Fonte: Próprio autor (2023). Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas entre as linhas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com metabissulfito de potássio para as amostras com o mesmo pH inicial. Diferentes letras maiúsculas entre as linhas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras com diferentes pH iniciais para o mesmo tratamento com metabissulfito de potássio. Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pós-fermentativa.

Observou-se que o momento da adição do metabissulfito de potássio na elaboração dos fermentados de araçá-vermelho influenciou diretamente nos teores de ácido ascórbico das amostras (Tabela 1), independentemente do valor inicial de pH dos mostos. As amostras com adição de K₂S₂O₅ ao final da fermentação (MF) apresentaram teores mais elevados ($p < 0,05$) de ácido ascórbico. Não foram observadas diferenças ($p > 0,05$) nos teores de ácido ascórbico entre as amostras com adição inicial (MI) e parcial (MP) deste aditivo. Já existem relatos de que o metabissulfito de sódio, outro composto que libera dióxido de enxofre (SO₂) e que é amplamente utilizado na vinificação, pode afetar o teor de ácido ascórbico em fermentados. Isso foi destacado em um estudo realizado por Huang *et al.* (2022), que relataram que a adição de metabissulfito de sódio (em concentrações entre 0,04 e 0,08%) em polpa de acerola aumentou a taxa de preservação do ácido ascórbico. Segundo Ahmadi *et al.* (2020) o metabissulfito de potássio é um forte agente redutor, sendo oxidado quando exposto ao oxigênio, protegendo assim outros componentes facilmente oxidáveis na mesma matriz alimentar, sendo esse comportamento diretamente influenciado pelos meios aeróbicos e anaeróbicos. Vale destacar que os teores de ácido ascórbico encontrados neste estudo foram

superiores aos de fermentados de maracujá da Caatinga (4,40 a 4,77 mg/100g de ácido ascórbico) (SANTOS *et al.*, 2021) e fermentado de mirtilo (0,0085 mg/mL de ácido ascórbico) (VARO *et al.*, 2022).

Os resultados para o anidrido sulfuroso total estão de acordo com a legislação brasileira que estabelece valores máximos de 0,35 g/L deste composto nos fermentados de frutas (BRASIL, 2012). No entanto, os fermentados de araçá-vermelho apresentaram valores para o teor alcoólico variando entre 3% e 3,43%, abaixo do limite mínimo de 4%, estabelecido pela instrução normativa Nº 34, de 29 de novembro de 2012, indicando que se enquadram como bebidas de baixo teor alcoólico. Este tipo de bebida tem chamado cada vez mais a atenção dos consumidores, se tornando nos últimos anos um nicho de mercado a nível global (LIGUORI *et al.*, 2018). Em um estudo sobre a produção de fermentados de uvaia, uma fruta nativa brasileira, Ferreira *et al.* (2024) também constataram que tais bebidas se classificam como de baixo teor alcoólico, com níveis variando entre 3,71% e 4,05%. Vale destacar, que a legislação brasileira carece de normativas relacionadas às bebidas de fruta *low-alcohol*, uma vez que as normativas publicadas tratam somente de bebidas não alcólicas ou desalcooolizadas (BRASIL, 2009), determinando que esse tipo de produto deve possuir um teor de álcool menor que 0,5% (v/v). Além disso, a nível global, as legislações ainda não possuem uma padronização clara quanto ao teor alcoólico das bebidas *low-alcohol* (Ferreira *et al.* 2024).

Na tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos para os ácidos orgânicos e açúcares dos fermentados de araçá-vermelho.

Tabela 2 - Composição de ácidos orgânicos alifáticos (mg/L) e açúcares (g/100mL) nos fermentados de araçá-vermelho.

Compostos	MI	MP	MF	MI	MP	MF
	pH inicial 3,0			pH inicial 2,8		
Ácido Tartárico	745,10 ± 8,38 ^{aA}	712,14 ± 9,54 ^{bA}	746,55 ± 4,10 ^{aA}	735,35 ± 4,87 ^{aA}	700,91 ± 5,65 ^{bA}	674,01 ± 2,06 ^{cB}
Ácido Fórmico	96,79 ± 1,22 ^{cB}	119,16 ± 1,07 ^{aA}	100,73 ± 0,47 ^{bB}	139,11 ± 2,44 ^{aA}	99,06 ± 0,43 ^{bB}	102,63 ± 0,43 ^{bA}
Ácido Cítrico	22547,60 ± 301,07 ^{bB}	24539,55 ± 178,42 ^{aB}	24354,02 ± 424,46 ^{aB}	33908,42 ± 427,75 ^{aA}	27299,47 ± 405,52 ^{bA}	33908,42 ± 427,75 ^{aA}
Ácido Málico	1183,67 ± 10,87 ^{aA}	1087,37 ± 4,63 ^{bA}	989,20 ± 5,03 ^{cB}	1083,82 ± 14,19 ^{aB}	1012,51 ± 5,45 ^{bB}	1129,42 ± 28,40 ^{aA}
Ácido Glicólico	1122,22 ± 5,29 ^{aB}	1132,71 ± 11,94 ^{aA}	1058,29 ± 7,09 ^{bA}	1165,68 ± 9,61 ^{aA}	1049,14 ± 12,74 ^{bB}	1033,00 ± 12,38 ^{bA}
Ácido Lático	1135,96 ± 6,38 ^{aA}	1004,72 ± 0,49 ^{cB}	1038,20 ± 13,79 ^{bB}	1076,62 ± 7,49 ^{bB}	1156,86 ± 4,96 ^{aA}	1074,49 ± 4,23 ^{bA}
Ácido Succínico	886,93 ± 4,60 ^{aB}	885,41 ± 4,72 ^{aA}	790,27 ± 8,98 ^{bB}	1005,79 ± 3,29 ^{aA}	884,15 ± 3,59 ^{cA}	980,28 ± 4,16 ^{aA}
Ácido Acético	217,59 ± 1,78 ^{bB}	211,92 ± 1,83 ^{cB}	248,71 ± 1,46 ^{aA}	233,96 ± 3,13 ^{bA}	231,99 ± 2,96 ^{bA}	244,01 ± 3,49 ^{aA}
Glicose	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*
Frutose	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*
Sacarose	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*	<LOQ*

Fonte: Próprio autor (2023). Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com metabissulfito de potássio para as amostras com o mesmo pH inicial. Diferentes letras maiúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras com diferentes pH iniciais para o mesmo tratamento com metabissulfito de potássio. * Abaixo do limite de quantificação do método. Limites de quantificação: Frutose: 0,088 g/L; Glicose 0,097 g/L e Sacarose 0,074 g/L Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

A quantidade de ácidos orgânicos em bebidas fermentadas desempenha um papel crucial no seu aroma, coloração, estabilidade química, valor nutricional e aceitação sensorial (HUANG *et al.*, 2021). Apesar de ter sido realizada a adição de ácido cítrico nas amostras com pH inicial de 2,8, este ácido também foi o majoritário nas amostras com o pH inicial de 3,0. Segundo Uzhel *et al.* (2021) o ácido cítrico tem sido frequentemente adicionado na elaboração de bebidas fermentadas com o objetivo de melhorar a sua ação antioxidante e a retenção de cor. O teor de ácido cítrico nos fermentados

de araçá-vermelho foi superior ao observado em fermentado de sabugueiro (1040 mg/L) (TERZIĆ *et al.*, 2022), fermentado de maçã (536,73 mg/L) (YE *et al.*, 2014) e fermentado de morango (5500 mg/L) (YANG *et al.*, 2021).

De acordo com Ferreira *et al.* (2020), durante o processo fermentativo alguns ácidos orgânicos podem ser degradados ou também podem ser sintetizados pelas leveduras. Entre os ácidos orgânicos suscetíveis à degradação, o ácido tartárico presente no fermentado de araçá-vermelho apresentou diferenças ($p < 0,05$) em relação às etapas de adição de metabissulfito de potássio. Em ambas as condições de pH inicial, foi observado que a adição de $K_2S_2O_5$ no início da fermentação (MI) evitou uma degradação mais pronunciada deste ácido, que geralmente ocorre devido à acumulação do álcool resultante da fermentação (FERREIRA *et al.*, 2020).

O ácido málico presente nos fermentados de araçá-vermelho apresentou concentrações elevadas em todas as formulações, entretanto, notou-se que o tratamento com pH inicial 3,0 e com adição 100 mg/L de metabissulfito de potássio antes da fermentação (MI) apresentou maiores valores deste ácido ($p < 0,05$). Este ácido pode manifestar-se com um sabor intenso, picante e amargo durante a fermentação alcoólica. Além disso, tem a capacidade de realçar a sensação de frescor em fermentados de frutas, ao mesmo tempo em que diminui a liberação de compostos aromáticos (ZHAO *et al.*, 2023).

Os ácidos glicólico, láctico e succínico são comumente gerados pelas leveduras no processo fermentativo como resultado do seu metabolismo (FERREIRA *et al.*, 2020; KOIVISTOINEN *et al.*, 2013). Verificou-se que tanto o pH inicial, quanto a etapa de adição do $K_2S_2O_5$, influenciaram as concentrações dos ácidos glicólico, láctico e succínico. Observou-se que a redução do pH inicial para 2,8 contribuiu para concentrações mais elevadas ($p < 0,05$) do ácido succínico. Além disso, a concentração do ácido láctico também foi afetada pelo pH inicial nas amostras MP e MF, resultando nas maiores concentrações ($p < 0,05$) quando houve uma redução do pH inicial. Por outro lado, ao analisar o efeito do pH na concentração do ácido glicólico, notou-se que a amostra MI com pH inicial de 2,8 apresentou uma concentração maior ($p < 0,05$) do que em comparação com a amostra MI com pH inicial de 3,0.

Em relação aos teores de ácido acético, observou-se que, independentemente do pH inicial, a adição de $K_2S_2O_5$ ao final da fermentação resultou em uma maior ($p < 0,05$) concentração desse ácido nas amostras (MF). Por outro lado, as amostras adicionadas de 100 mg/L e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa apresentaram valores menores ($p < 0,05$) deste ácido. Segundo Guerrero *et al.* (2015), o $K_2S_2O_5$ desempenha um papel crucial no

controle de microrganismos indesejados durante a fermentação, como, por exemplo, as bactérias acéticas, o que justifica os resultados encontrados neste estudo. Contudo, é relevante mencionar que os teores de ácido acético observados se encontram dentro dos níveis considerados ideais para fermentados alcoólicos de frutas (200 a 700 mg/L), o que contribui para suas características sensoriais. No entanto, é importante notar que teores mais elevados, acima de 800 mg/L deste ácido orgânico na produção de bebidas fermentadas alcoólicas podem ser prejudiciais à qualidade do produto (JIANG *et al.*, 2020; RÊGO *et al.*, 2020).

Em relação aos açúcares avaliados (frutose, glicose e sacarose) nas bebidas, os resultados ficaram abaixo do limite de quantificação do método, revelando a metabolização dos açúcares do mosto pela levedura ao longo da fermentação.

4.2 ANÁLISES DE COR

4.2.1 Parâmetros CIELab

Todos os fermentados de araçá-vermelho apresentaram baixa luminosidade ($L^* \leq 50$) (Tabela 3), indicando uma tendência a bebidas mais escuras, uma vez que quanto mais clara é a amostra, mais próximo de 100 será o resultado, e enquanto mais próximo de 0, mais escura será a amostra. De acordo com Feitosa *et al.* (2023), frutas que apresentam pigmentos como as antocianinas em sua composição geralmente tendem a ser mais escuras.

Tabela 3 - Parâmetros de cor dos fermentados de araçá-vermelho.

Componentes	MI	MP	MF	MI	MP	MF
	pH inicial 3,0			pH inicial 2,8		
L*	41,73 ± 0,01 ^{bB}	43,52 ± 0,01 ^{aA}	43,64 ± 0,09 ^{aA}	42,66 ± 0,02 ^{aA}	41,33 ± 0,06 ^{bB}	41,92 ± 0,01 ^{cB}
a*	15,89 ± 0,03 ^{aB}	14,86 ± 0,03 ^{bB}	12,64 ± 0,06 ^{cB}	19,22 ± 0,05 ^{aA}	16,87 ± 0,38 ^{bA}	16,16 ± 0,01 ^{cA}
b*	29,13 ± 0,02 ^{cB}	29,51 ± 0,02 ^{bB}	31,14 ± 0,09 ^{aA}	30,45 ± 0,05 ^{aA}	29,18 ± 0,10 ^{bB}	29,12 ± 0,00 ^{bB}
C*	33,18 ± 0,02 ^{bB}	33,04 ± 0,02 ^{bB}	33,61 ± 0,09 ^{aA}	36,00 ± 0,02 ^{aA}	33,79 ± 0,03 ^{bA}	33,30 ± 0,01 ^{cB}
h°	61,40 ± 0,05 ^{cA}	63,28 ± 0,05 ^{bA}	67,91 ± 0,03 ^{cB}	57,69 ± 0,04 ^{cA}	59,67 ± 0,29 ^{bB}	61,00 ± 0,05 ^{aB}

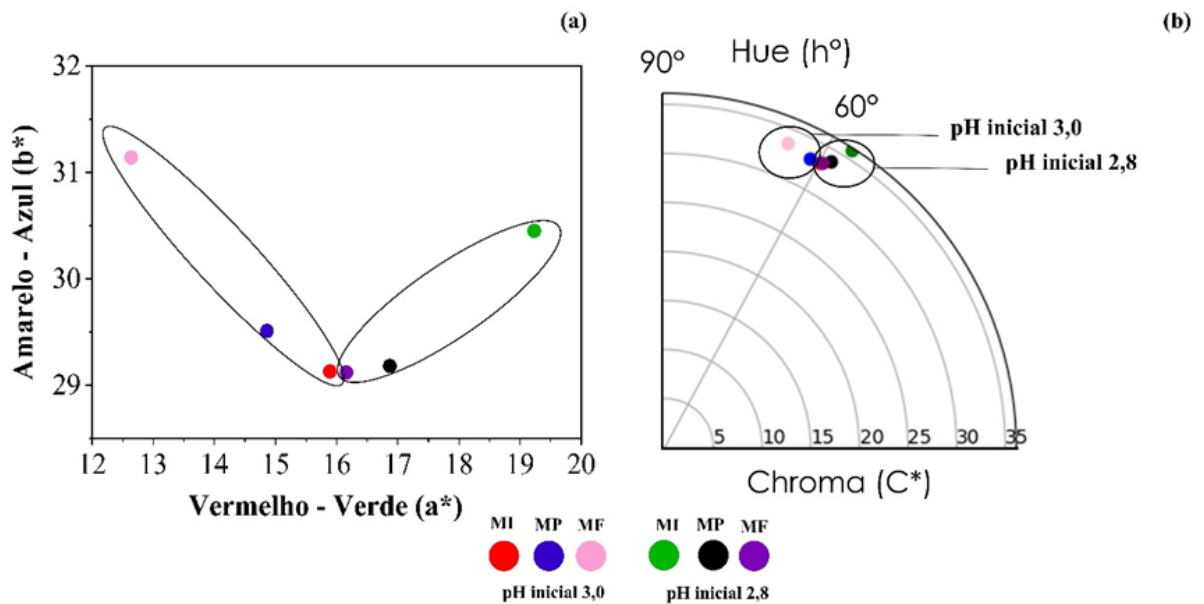
Fonte: próprio autor (2023). Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com metabissulfito de potássio para as amostras com o mesmo pH inicial. Diferentes letras maiúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras com diferentes pH iniciais para o mesmo tratamento com metabissulfito de potássio. Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

Em relação ao parâmetro a^* , todas as amostras de fermentados apresentaram uma tendência ao vermelho (Tabela 3). No entanto, observou-se que as amostras com pH inicial 2,8 mantiveram uma coloração mais avermelhada ($p < 0,05$) em comparação às amostras com pH inicial 3,0. Este resultado sugere que o menor valor de pH no início da fermentação favoreceu uma intensificação maior da coloração vermelha, provavelmente devido a uma maior estabilidade dos pigmentos presentes no meio. Independentemente do valor inicial de pH, as amostras MI apresentaram valores de a^* significativamente maiores ($p < 0,05$) em comparação com as amostras MP e MF, indicando que a adição de $K_2S_2O_5$ no início da fermentação contribuiu positivamente para preservação da coloração vermelha dos fermentados alcoólicos de araçá-vermelho.

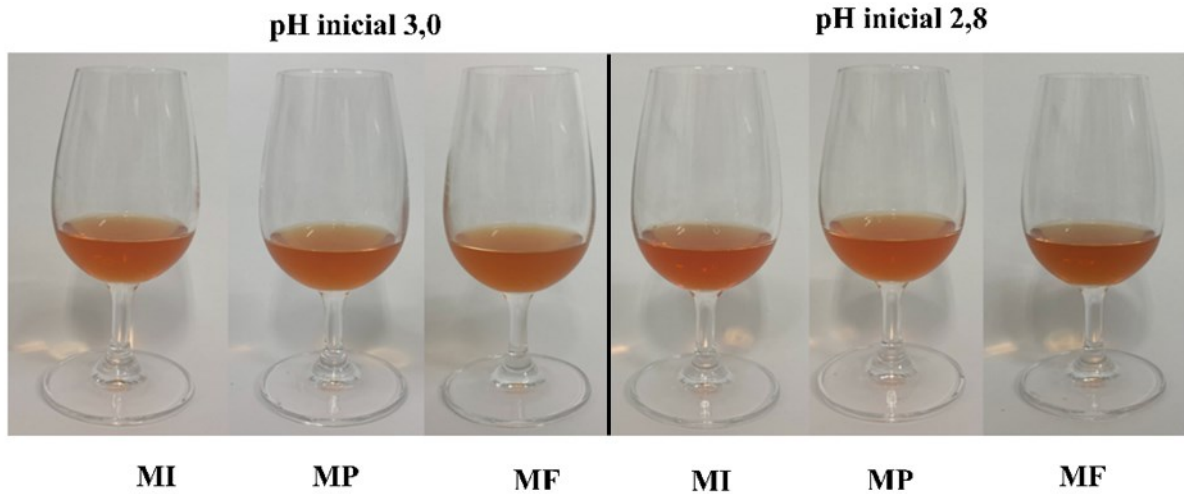
Quanto aos valores de b^* , as amostras tenderam ao amarelo, onde o valor mais ($p < 0,05$) expressivo foi observado na amostra MF com pH inicial 3,0, indicando provavelmente algum processo oxidativo decorrente da ausência do metabissulfito de potássio no início da fermentação, podendo estar associado à diminuição da tonalidade vermelha (a^*) nesta amostra, influenciando de maneira significativa ($p < 0,05$) no resultado do ângulo hue (h°). De acordo com Wu *et al.* (2022) a perda da tonalidade vermelha e o aumento da tonalidade amarela em fermentados alcoólicos é um processo comum, já que ao longo da fermentação pode ocorrer a degradação e a oxidação dos pigmentos vegetais, dependendo

da matriz empregada e das condições do processo. De acordo com Pathare *et al.* (2012), a cromaticidade está diretamente relacionada à saturação da cor e à concentração do elemento corante, desempenhando um papel fundamental como um atributo quantitativo associado à intensidade da cor. A distribuição dos tratamentos no espaço de cor CIELab está apresentada na figura 8. A partir da observação da Figura 8 (a) fica evidente a maior tendência à coloração vermelha da amostra MI com pH inicial de 2,8 em comparação à amostra com pH inicial de 3,0. O maior valor de cromaticidade (C^*) foi observado na amostra MI com pH inicial de 2,8, demonstrando uma tonalidade mais intensa. Todas as amostras de fermentados de araçá-vermelho demonstraram uma tendência a apresentar ângulos de tonalidade (h°) em torno de 60° (Figura 8(b)), o que indica uma tonalidade intermediária entre o amarelo e o vermelho. Além disso, a amostra MI com pH inicial de 2,8 apresentou o menor ($p < 0,05$) valor de ângulo hue (h°) enfatizando a sua coloração mais avermelhada, conforme pode ser visualizado na Figura 8 (c).

Figura 8 - Parâmetros CIELab e imagens das amostras de fermentados de araçá-vermelho.



(c)



Fonte: Próprio autor (2023). (A) Componente verde- vermelho (a^*) vs componente azul-amarelo (b^*) dos fermentados de araçá-vermelho; (B) Chroma (C^*) vs ângulo de matiz (h°) dos fermentados de araçá-vermelho; (C) Imagens dos fermentados de araçá-vermelho. Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

A diferença de cor (ΔE^*) dos fermentados de araçá-vermelho foi calculada visando compreender as variações cromáticas entre os tratamentos utilizados (pH inicial e etapa de adição do $K_2S_2O_5$) (Tabela 4). Segundo Adekunte *et al.* (2010), a diferença na cor pode ser classificada como, $\Delta E > 3$ muito diferente, $1,5 < \Delta E < 3,0$ diferente e $\Delta E < 1,5$ pequenas diferenças.

Tabela 4 - Efeito do metabissulfito de potássio e do pH na diferença de cor (ΔE^*) dos fermentados de araçá-vermelho.

Tratamentos	pH inicial 3,0			pH inicial 2,8		
	MI	MP	MF	MI	MP	MF
MI	0,00					
MP	2,10	0,00				
MF	4,27	2,76	0,00			
MI	3,71	4,55	6,69	0,00		
MP	1,06	2,99	5,20	2,99	0,00	
MF	0,34	2,09	4,40	3,42	0,93	0,00

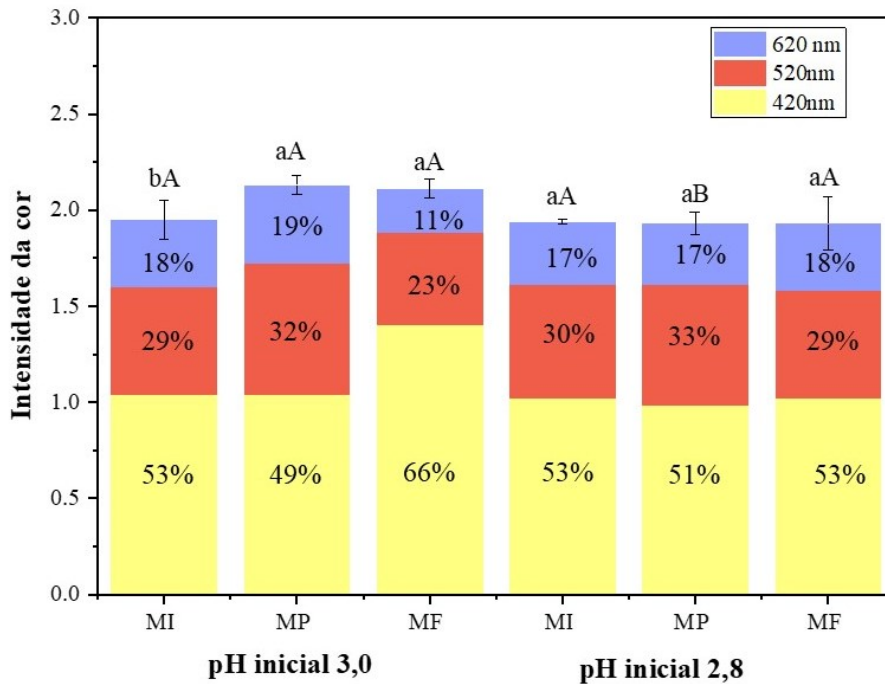
Fonte: Próprio autor, (2023). Resultados expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

Desta forma, as amostras com pH inicial 3,0, apresentaram a maior diferença de cor ($\Delta E > 3$) entre as amostras MI e MF, indicando que a etapa de adição do $K_2S_2O_5$ teve um impacto na coloração dessas amostras. Além disso, todas as amostras com pH inicial 3,0 foram consideradas muito diferentes ($\Delta E > 3$) quando comparadas a amostra MI com pH inicial 2,8. A maior diferença foi observada quando se comparou a amostra MF com pH inicial 3,0 com a amostra MI com pH inicial 2,8. Essa diferença pode ser atribuída ao fato que a amostra MF com pH inicial 3,0 pode ter sofrido processo de degradação devido à ausência do $K_2S_2O_5$, resultando em uma coloração mais amarelada, como discutido anteriormente, enquanto a amostra MI com pH inicial de 2,8 manteve uma tonalidade mais avermelhada, o que levou a uma diferença de cor tão evidente.

4.2.2 Medidas de intensidade da cor

A intensidade da cor representa de maneira parcial a concentração de antocianinas monoméricas e a criação de compostos derivados de antocianinas em fermentados de frutas (WU *et al.*, 2022). Na Figura 9, é possível observar a intensidade de cor dos fermentados alcoólicos de araçá-vermelho, onde a absorvância a 520 nm contribui para a tonalidade vermelha, a 420 nm contribui para as tonalidades mais acastanhadas/amareladas e a 620 nm contribui com as tonalidades azuladas nas bebidas.

Figura 9 - Intensidade de cor dos fermentados de araçá-vermelho.



Fonte: Próprio autor (2023). Resultados expressos como média \pm desvio padrão ($n=3$). Diferentes letras minúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com metabissulfito de potássio para as amostras com o mesmo pH inicial. Diferentes letras maiúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras com diferentes pH iniciais para o mesmo tratamento com metabissulfito de potássio. Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

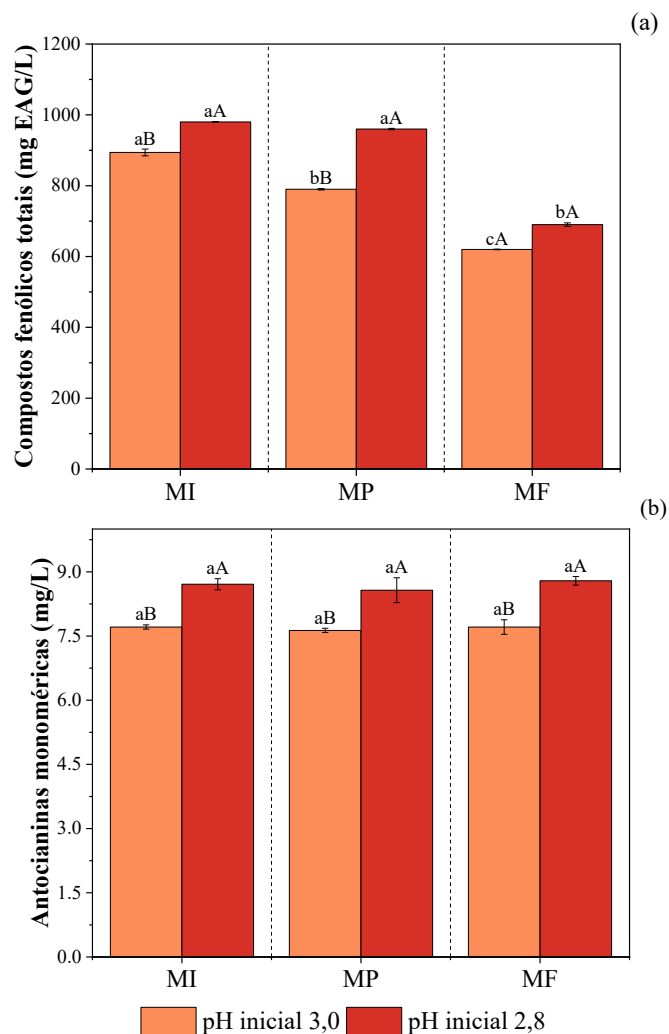
Foi possível observar que o pH inicial não influenciou ($p > 0,05$) a intensidade da cor para as amostras com adição de $K_2S_2O_5$ no início da fermentação (MI). No entanto, este mesmo comportamento não foi observado para as amostras MP e MF, onde aquelas com pH inicial 3,0 demonstraram uma intensidade de cor maior ($p < 0,5$) em comparação com as amostras de pH inicial 2,8. Especificamente a amostra MF com pH 3,0 exibiu uma intensidade amarela mais pronunciada (420 nm) com índice colorimétrico de 66% da cor amarela, enquanto as amostras com pH inicial 2,8 (MI, MP e MF) apresentaram valores mais expressivos da intensidade de cor vermelha (520 nm) com índices colorimétricos de 30%, 33% e 29%, respectivamente. A absorvância a 420nm está relacionada ao índice de escurecimento das amostras, demonstrando que a adição de metabissulfito de potássio ao final da fermentação nas amostras com pH inicial de 3,0 não foi capaz de proteger esta amostra das reações oxidativas. De acordo com estudo de Liu *et al.* (2018), existe uma correlação negativa entre esse índice e o teor de antocianinas. Possivelmente ocorrem reações de condensação que resultam na formação de ligação covalente entre as moléculas de antocianinas e outros

flavonoides presente nas bebidas, levando a criação de um novo anel piranoide por meio de uma adição cíclica. Estas reações, por sua vez, promovem a mudança da coloração das bebidas. Os resultados dessas reações também ocorrem nos compostos fenólicos, que durante a fermentação alcoólica alteram a percepção da cor, podendo desenvolver uma tonalidade amarelo-laranja (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).

4.3 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ANTOCIANINAS MONOMÉRICAS TOTAIS.

Os resultados dos compostos fenólicos totais e antocianinas monoméricas totais dos fermentados de araçá-vermelho, estão apresentados na figura 10.

Figura 10 - Teor de compostos fenólicos totais (CFT) (a) e antocianinas monoméricas totais (b) dos fermentados de araçá-vermelho.



Fonte: Próprio autor (2023). Resultados expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas entre as colunas da mesma cor indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com metabissulfito de potássio para as amostras com o mesmo pH inicial. Diferentes letras maiúsculas entre as colunas de diferentes cores indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras com diferentes pH iniciais para o mesmo tratamento com metabissulfito de potássio. Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

A etapa de adição do $K_2S_2O_5$, bem como o pH inicial das amostras exerceram influência significativa sobre o teor de compostos fenólicos totais. As concentrações mais elevadas ($p < 0,05$) foram observadas nas amostras com pH inicial de 2,8, onde diferenças significativas ($p > 0,05$) foram observadas. Conforme destacado em um estudo conduzido por Ahmed *et al.* (2021), que investigou o impacto da adição de diferentes aditivos, incluindo o ácido cítrico, no teor de compostos fenólicos de sucos de amora preta, foi observado que a redução do pH do meio desempenhou um papel crucial na inibição da degradação dos polifenóis, ao suprimir a atividade da enzima polifenol oxidase.

Por outro lado, no caso das amostras com pH inicial 3,0, ficou evidente que a etapa de adição do $K_2S_2O_5$ influenciou diretamente no teor de CFT, em que a adição na etapa pré-fermentativa resultou na maior concentração destes compostos ($p < 0,05$), o que reforça a aplicação deste aditivo alimentar também como agente antioxidante. Esses sais liberam SO_2 , que por sua vez se dissocia no meio, desempenhando três funções distintas: eliminação direta de oxigênio, reação com peróxido de hidrogênio e redução de quinonas. Além disso, o metabissulfito de potássio contribui para a extração de minerais, ácidos orgânicos e compostos fenólicos nos fermentados de frutas (GUERRERO *et al.*, 2015). Os resultados para CFT do presente estudo foram superiores aos encontrados por Huang *et al.* (2021) em fermentados alcoólicos de kiwi das variedades Yate (434,11 mg EAG/L) e Milliang (390,42 mg EAG/L). Em contrapartida, os resultados para o CFT assemelharam-se aos observados em fermentados de morango (700 mg EAG/L) (Yang *et al.*, 2021) e em fermentados de caqui (734,5 mg EAG/L) (Lu *et al.*, 2020).

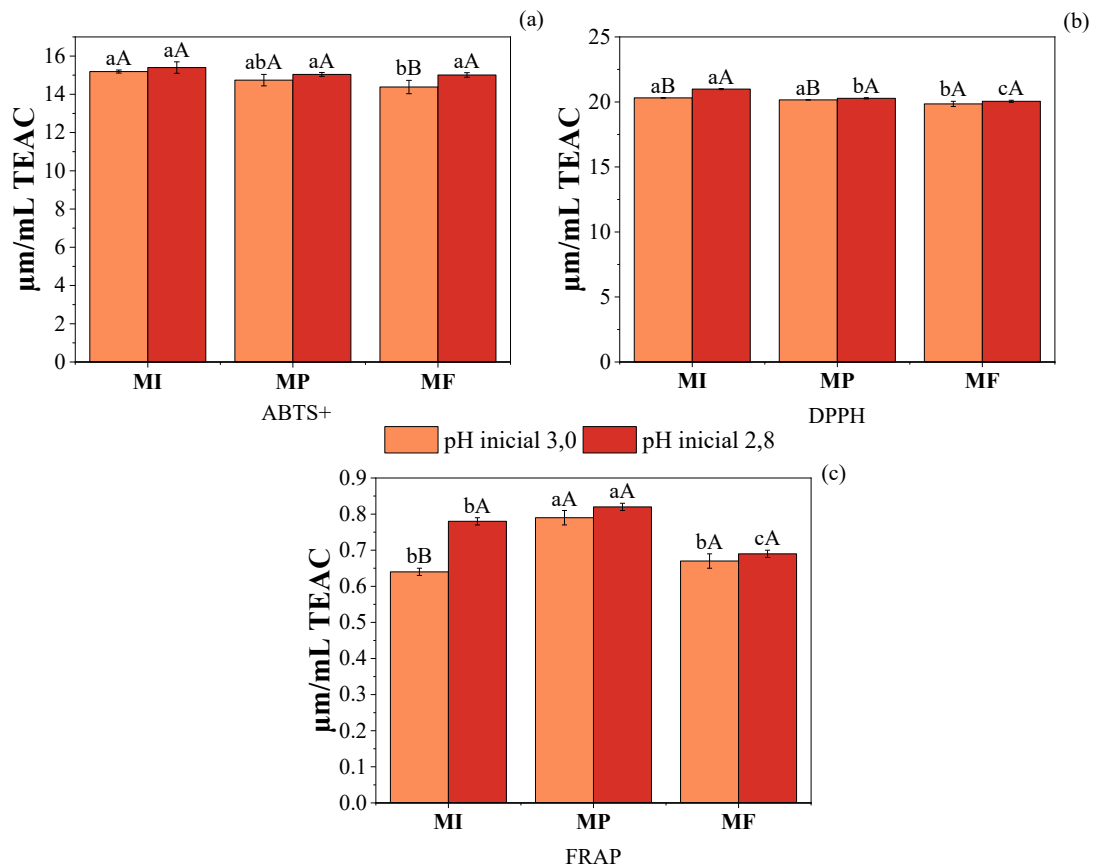
A presença das antocianinas monoméricas totais nos fermentados de araçá-vermelho desempenha um papel crucial, tanto na coloração das bebidas quanto na sua composição fenólica e atividade antioxidante. Como esperado, as amostras com pH inicial 2,8 influenciou os teores de antocianinas totais, registrando valores de 8,71, 8,57 e 8,79 mg/L respectivamente. De acordo com Albarici *et al.* (2006), as antocianinas apresentam maior estabilidade em meios com pH inferior a 3,0, pois nessa condição as moléculas de antocianinas adotam a forma de cátion flavílio, caracterizada pela coloração vermelha. Os

valores obtidos nesse estudo foram semelhantes aos registrados por Liu *et al.* (2018) em amostras controle de fermentados de espinaheiro chinês (10 mg/L).

4.4 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*

Os valores de atividade antioxidante avaliada por três ensaios *in vitro* dos fermentados de araçá-vermelho estão apresentados na Figura 11. As maiores atividades foram observadas nos ensaios ABTS⁺ e DPPH (figura 11 a e b), ambos baseados na captura de radicais. Os índices mais baixos de atividade antioxidante demonstrados no ensaio FRAP (figura 11 c) podem estar relacionados ao fato de que o método pode não ser preciso em expressar a capacidade antioxidante de certos compostos em determinadas matrizes alimentares, uma vez que podem reagir no meio com íons ferrosos (Fe²⁺) (GULCIN *et al.*, 2020).

Figura 11 - Capacidade antioxidante *in vitro* dos fermentados de araçá-vermelho pelos métodos, ABTS (a), DPPH (b) e FRAP (c).



Fonte: Próprio autor (2023). Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas entre as colunas da mesma cor indicam diferenças significativas (p < 0,05) entre os tratamentos com

metabissulfito de potássio para as amostras com o mesmo pH inicial. Diferentes letras maiúsculas entre as colunas de diferentes cores indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras com diferentes pH iniciais para o mesmo tratamento com metabissulfito de potássio. Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa.

Quanto ao pH inicial do mosto, observou-se que a redução deste parâmetro contribuiu para as maiores ($p < 0,05$) atividades antioxidantes. Por outro lado, a etapa de adição do $K_2S_2O_5$ refletiu de maneira diferente em cada um dos métodos realizados. Pelo método ABTS, os valores mais expressivos foram obtidos também na amostra MI, independente do pH inicial dos mostos, enquanto no método DPPH a maior ($p < 0,05$) atividade antioxidante foi observada na amostra MI com pH inicial de 2,8. Em contrapartida, no método FRAP, os valores mais expressivos foram apresentados pela amostra MP. Além disso, observou-se que a adição do $K_2S_2O_5$ ao final do processo fermentativo (MF) influenciou negativamente ($p < 0,05$) a atividade antioxidante das amostras avaliadas, independentemente do pH inicial do mosto, revelando o potencial antioxidante deste aditivo nas etapas iniciais do processo. De acordo com Varo *et al.* (2022), a atividade antioxidante está diretamente relacionada às concentrações de diferentes compostos fenólicos nas bebidas fermentadas, que podem apresentar processos de degradação/oxidação ao longo da fermentação, com alterações da estrutura química de diferentes compostos.

4.5 POLIFENÓIS E ANTOCIANINAS INDIVIDUAIS

Um total de quatorze compostos foram identificados na análise de polifenóis por HPLC nos fermentados de araçá-vermelho, dentre eles ácidos hidrozibenzóicos, ácidos hidroxicinâmicos, flavanóis e flavonóis (Tabela 5). Vale ressaltar que até o presente momento, nenhum estudo avaliou o perfil fenólico de fermentados alcoólicos de araçá-vermelho.

Tabela 5 - Concentração dos compostos fenólicos e antocianinas individuais nos fermentados de araçá-vermelho.

Polifenóis (mg.L ⁻¹)	pH inicial 3,0			pH inicial 2,8		
	MI	MP	MF	MI	MP	MF
Ácidos hidroxibenzoicos						
Gálico	12,05 ± 0,02 ^{bA}	10,25 ± 0,05 ^{cB}	12,98 ± 0,13 ^{aA}	11,17 ± 0,02 ^{cB}	11,94 ± 0,04 ^{bA}	12,48 ± 0,03 ^{aB}
Protocateico	0,67 ± 0,00 ^{bA}	0,61 ± 0,02 ^{cA}	0,87 ± 0,01 ^{aA}	0,57 ± 0,01 ^{cB}	0,64 ± 0,01 ^{bA}	0,69 ± 0,00 ^{aB}
Vanílico	0,62 ± 0,00 ^{aA}	0,58 ± 0,00 ^{bA}	0,33 ± 0,01 ^{cB}	0,26 ± 0,00 ^{cB}	0,32 ± 0,00 ^{bB}	0,36 ± 0,01 ^{aA}
Seringico	3,37 ± 0,02 ^{bA}	3,26 ± 0,00 ^{cB}	3,56 ± 0,02 ^{aB}	2,82 ± 0,02 ^{bB}	4,14 ± 0,00 ^{aA}	4,16 ± 0,02 ^{aA}
Ácidos hidroxicinâmicos						
Caftárico	0,74 ± 0,00 ^{aB}	0,64 ± 0,01 ^{cB}	0,67 ± 0,00 ^{bB}	0,78 ± 0,01 ^{aA}	0,70 ± 0,00 ^{bA}	0,70 ± 0,00 ^{bA}
p-cumárico	0,86 ± 0,01 ^{bB}	0,75 ± 0,00 ^{cB}	1,22 ± 0,01 ^{aA}	1,16 ± 0,00 ^{bA}	1,20 ± 0,00 ^{aA}	1,18 ± 0,02 ^{abA}
Caféico	0,42 ± 0,00 ^{aA}	0,36 ± 0,00 ^{cB}	0,40 ± 0,00 ^{bA}	0,42 ± 0,00 ^{bA}	0,43 ± 0,00 ^{aA}	0,40 ± 0,00 ^{cA}
Ferúlico	0,23 ± 0,00 ^{aA}	0,22 ± 0,00 ^{bB}	0,23 ± 0,00 ^{aA}	0,22 ± 0,00 ^{cB}	0,24 ± 0,00 ^{aA}	0,23 ± 0,00 ^{bA}
Flavanóis						
Catequina	19,71 ± 0,33 ^{bA}	17,66 ± 0,01 ^{cB}	22,72 ± 0,17 ^{aA}	12,74 ± 0,08 ^{cB}	22,48 ± 0,17 ^{aA}	17,76 ± 0,59 ^{bB}
Epicatequina	2,92 ± 0,04 ^{bA}	2,04 ± 0,01 ^{cB}	3,40 ± 0,02 ^{aA}	2,03 ± 0,05 ^{cB}	3,02 ± 0,04 ^{aA}	2,20 ± 0,01 ^{bB}
Flavonóis						
Mirecetina	0,23 ± 0,00 ^{aA}	0,19 ± 0,00 ^{bA}	0,23 ± 0,00 ^{aA}	0,18 ± 0,00 ^{bB}	0,19 ± 0,00 ^{bA}	0,24 ± 0,01 ^{aA}
Quercetina	1,05 ± 0,03 ^{cB}	1,24 ± 0,00 ^{bB}	1,74 ± 0,00 ^{aA}	1,76 ± 0,01 ^{aA}	1,78 ± 0,00 ^{aA}	1,39 ± 0,31 ^{aA}
Campferol	0,23 ± 0,00 ^{bA}	0,22 ± 0,00 ^{bA}	0,25 ± 0,00 ^{aA}	0,22 ± 0,00 ^{aA}	0,23 ± 0,00 ^{aA}	0,23 ± 0,01 ^{aA}
Outros						
Tirosol	18,79 ± 0,12 ^{aB}	14,51 ± 0,02 ^{cB}	16,59 ± 0,19 ^{bA}	19,87 ± 0,05 ^{aA}	15,12 ± 0,03 ^{cA}	15,45 ± 0,04 ^{bB}
Antocianinas (mg.L⁻¹)						
Cianidina 3-glicosídeo	8,51 ± 0,02 ^{aB}	5,41 ± 0,01 ^{cB}	7,25 ± 0,01 ^{bB}	9,33 ± 0,01 ^{aA}	8,85 ± 0,01 ^{bA}	7,88 ± 0,02 ^{cA}
Petunidina 3-glicosídeo	1,6 ± 0,01 ^A	<0,53	<0,53	1,61 ± 0,01 ^A	<0,53	<0,53
Peonidina 3-glicosídeo	2,11 ± 0,01 ^{aB}	2,06 ± 0,01 ^{bB}	2,11 ± 0,01 ^{aA}	2,15 ± 0,01 ^{aA}	2,17 ± 0,01 ^{aA}	2,11 ± 0,01 ^{bA}
Malvidina 3-glicosídeo	1,78 ± 0,01 ^{aB}	1,64 ± 0,01 ^{cB}	1,71 ± 0,01 ^{bB}	1,86 ± 0,01 ^{bA}	1,90 ± 0,01 ^{aA}	1,77 ± 0,01 ^{cA}

Fonte: Próprio autor (2023). Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com metabissulfito de potássio para as amostras com o mesmo pH inicial. Diferentes letras maiúsculas entre as colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras com diferentes pH iniciais para o mesmo tratamento com metabissulfito de potássio. Sendo: MI: fermentado com adição de 100 mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de K₂S₂O₅ na etapa pós-fermentativa.

Dentre os compostos identificados, pode-se observar que os compostos majoritários foram a catequina, o tirosol e o ácido gálico, respectivamente. De acordo com Machado *et al.* (2023), a catequina e o ácido gálico estão presentes abundantemente nos frutos de araçá-vermelho. Ambos os compostos são reconhecidos por suas propriedades quelantes,

capacidade de inibir a peroxidação lipídica, contribuição para a preservação do sistema antioxidante endógeno, e efeitos benéficos que incluem atividade anti-inflamatória, antiproliferativa e antimicrobiana (PEREIRA *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2021).

No estudo realizado por Pagliarini *et al.* (2023) a bebida alcoólica obtida com frutos maduro de araçá-vermelho e cachaça (proporção 1:3) também apresentou a catequina como composto majoritário, aproximadamente 4 mg/L, um teor inferior ao relatado nas diferentes amostras do presente estudo. Dentre os tratamentos avaliados, as maiores concentrações foram observadas para as amostras MF pH inicial 3,0 e MP pH inicial 2,8.

A etapa de adição do $K_2S_2O_5$ influenciou os teores de tirosol presentes nos fermentados. O mesmo comportamento foi observado nas amostras de ambos os pH, sendo que as maiores concentrações foram observadas nas amostras MI, MF e MP respectivamente. De acordo com Zuriarrain-Ocio *et al.* (2022), o tirosol é sintetizado durante a fermentação alcoólica, uma vez que este composto pode ser formado através do metabolismo secundário das leveduras. Vale destacar que o tirosol apresenta susceptibilidade muito menor à auto oxidação em comparação com outros polifenóis, apresentando potenciais efeitos benéficos contra hipertensão, aterosclerose, doença cardíaca coronariana, insuficiência cardíaca crônica, resistência à insulina e obesidade (MARKOVIĆ *et al.*, 2019). Além disso, foi possível observar na tabela 5 que o ácido seringico, a epicatequina e a quercetina também apresentaram concentrações relevantes nas amostras de fermentado de araçá-vermelho.

Com relação ao perfil das antocianinas foram encontradas em todas as amostras a cianidina 3-glicosídeo, petunidina 3-glicosídeo, peonidina 3-glicosídeo e malvidina 3-glicosídeo, sendo a cianidina 3-glicosídeo a antocianina majoritária em todos os tratamentos.

A redução do pH do mosto para 2,8 com ácido cítrico foi um parâmetro significativo para a obtenção de maiores valores de antocianinas monoméricas nas bebidas. Além disso, estes resultados entram em concordância com os da análise do parâmetro de cor do componente a^* (Tabela 3) indicando uma tendência para tons mais avermelhados nas amostras com pH ajustado para 2,8. De acordo com o Rodríguez-Aguilar *et al.* (2024), dentre os ácidos orgânicos, o ácido cítrico é uma das melhores opções para melhorar a estabilidade das antocianinas. Além disso, Du *et al.* (2016) relataram que a otimização do pH para 2,9 do mosto de Bayberry contribuiu para a obtenção de um fermentado com maiores teores de antocianinas (77 mg/L).

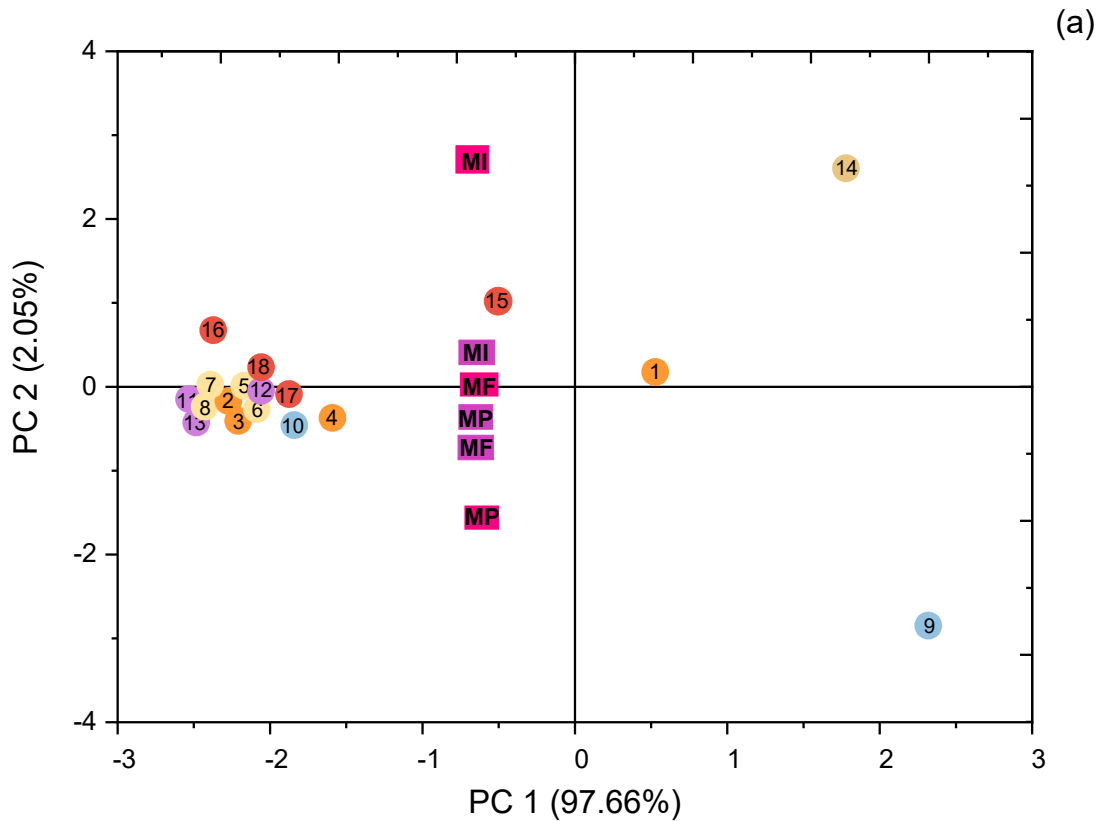
Ademais, as antocianinas desempenham um papel crucial na promoção da saúde, atuando como antioxidantes, cardioprotetora, anti-inflamatório, neuroprotetora, anticancerígeno, antienvelhecimento, protetores oculares e protetores renais, além de

apresentarem benefícios contra diabetes tipo 2 e dietética (MARTÍN-GÓMEZ *et al.*, 2021; RUPASINGHE *et al.*, 2018).

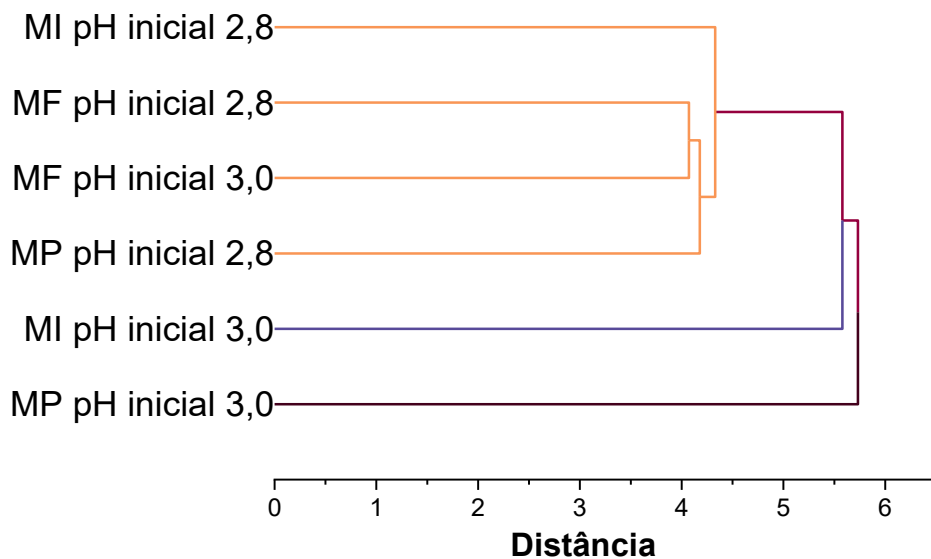
A etapa de adição do metabissulfito de potássio também apresentou influência na preservação da maioria das antocianinas individuais avaliadas, com maiores valores ($p < 0,05$) nas formulações MI. Um perfil semelhante foi observado por Varo *et al.* (2022), em fermentados de mirtilo, onde as antocianinas 3-glicosídeos (delfinida-3-glicosídeo, cianidina-3-glicosídeo e malvidina-3-glicosídeo) apresentaram uma redução no seu teor após as bebidas serem submetidas ao tratamento com metabissulfito de potássio na etapa pós-fermentativa. Enquanto isso, observou-se que a petunidina 3-glicosídeo foi quantificada apenas nas amostras MI, adicionadas de 100mg/L de metabissulfito de potássio na etapa pré-fermentativa, auxiliando na preservação desse composto, independente do pH inicial do mosto.

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível observar pela análise de componentes principais (ACP) e pela análise de agrupamento hierárquico (AAH) uma tendência no comportamento da composição fenólica e das antocianinas nas diferentes condições de pH inicial (pH da polpa ou pH ajustados) e nas diferentes etapas de adição do metabissulfito de potássio (etapa pré-fermentativa, pós-fermentativa ou ambas). Desta forma, as variáveis empregadas na ACP foram definidas como os compostos que apresentaram diferenças ($p < 0,05$) significativas entre as amostras de fermentados. A ACP (figura 12 a) foi constituída de dois componentes principais (CP1 e CP2) responsáveis por explicar 99,71% da variabilidade total dos dados, sendo que, PC1 explicou a maior parte dessa variabilidade dos dados (97,66%) enquanto o CP2 explicou 2,05% da dispersão total.

Figura 12- Análise dos componentes principais (a) e análise de agrupamento hierárquico (b) dos fermentados de araçá-vermelho na composição fenólica e antocianinas individuais.



(b)



■: pH inicial 3,0; ■: pH inicial 2,8; MI: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa; MP: fermentado com adição de 50mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa e 50 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; MF: fermentado com adição de 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ na etapa pós-fermentativa; ●: Ácidos hidroxibenzoicos; ●: Ácidos hidroxicinâmicos; ●: Flavanóis; ●: Flavonóis; ●: Outros; ●: Antocianinas; 1: ácido gálico; 2: ácido protocateico; 3: ácido vanílico; 4: ácido serínico; 5: ácido caftárico; 6: ácido p-cumárico; 7: ácido cafeíco; 8: ácido ferúlico; 9: catequina; 10: epicatequina; 11: mirecetina; 12:

quercetina; 13: campferol; 14: Tirosol; 15: Cianidina 3-glicosídeo; 16: Petunidina 3-glicosídeo; 17: Peonidina 3-glicosídeo; 18: Malvidina 3-glicosídeo.

Com base nestes resultados pode-se observar que apenas as amostras MI e MP com pH inicial 3.0 apresentaram separação das demais amostras. Essa divisão pode ser observada através dos clusters apresentados no AAH (Figura 12 b). Observa-se que a maioria dos compostos fenólicos e as antocianinas apresentaram associação com as amostras com o pH inicial de 2,8. Além disso, o comportamento da cianidina 3-glicosídeo, do ácido gálico, da catequina e do tirosol foi distinto dos demais compostos, o que pode estar relacionado ao fato destes serem os principais constituintes nas amostras de fermentados de araçá-vermelho. A cianidina-3-glicosídeo e o tirosol apresentaram correlações positivas ($p < 0,05$) com o PC2 ($r=0,50$ e $r=0,82$, respectivamente), indicando associações com as amostras MI em ambos os pH iniciais, sugerindo que a adição do $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa contribuiu para a quantificação destes compostos. O ácido gálico apresentou correlações moderadas ($p < 0,05$) com o PC1 e PC2, sendo positivas ($r= 0,29$) e negativas ($r= -0,31$), respectivamente, associando-se principalmente com as amostras presentes no PC1. No entanto, a catequina demonstrou uma correlação negativa significativa ($p < 0,05$) com o PC2 ($r=-0,89$), destacando uma forte associação com as amostras MF com pH inicial 3,0 e MP com pH inicial 2,8.

Nesse cenário, diante do desafio de produzir bebidas com atributos sensoriais atraentes, especialmente em relação à cor, que é fundamental para a aceitação dos consumidores, as formulações com adição do $K_2S_2O_5$ na etapa pré-fermentativa emergem como promissoras. A análise multivariada revelou, que, independentemente do pH inicial, as amostras MI estão associadas à cianidina 3-glicosídeo, a antocianina predominante que tem um impacto direto no aspecto visual dos fermentados.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho representa um avanço pioneiro na elaboração de bebidas fermentadas com araçá-vermelho utilizando diferentes tratamentos com metabissulfito de potássio nas etapas pré e pós-fermentativas com ajustes de pH inicial do mosto. Em síntese, os resultados obtidos nesta pesquisa revelam que a amostra de fermentado sujeita a tratamento com metabissulfito de potássio na etapa pré-fermentativa (MI), e ajuste de pH para 2,8 destacou-se de maneira significativa em diversas análises. A composição de ácidos orgânicos foi notavelmente destacada nessas condições nos teores de ácido cítrico, ácido málico e ácido láctico. A coloração dos fermentados também foi influenciada de forma marcante pela

combinação desses fatores, evidenciando uma maior tendência para a tonalidade vermelha (a^*) nas amostras MI e naquelas com pH 2,8. Além disso, a presença de metabissulfito de potássio exerceu uma grande influência sobre o teor de compostos fenólicos e antocianinas monoméricas, com resultados particularmente relevantes nas amostras com pH inicial de 2,8. Além disso, a atividade antioxidante, avaliada pelos métodos DPPH e ABTS, demonstrou resultados mais expressivos na amostra MI, especialmente quando associada a um pH inicial de 2,8.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são promissores, no entanto, é relevante investigar adicionalmente a estabilidade dos fermentados de araçá-vermelho durante o armazenamento, bem como a avaliação sensorial destas bebidas. A abordagem adotada nesse estudo pode contribuir para pesquisas futuras, incentivando a investigação de outras frutas nativas brasileiras pouco utilizadas comercialmente para a elaboração de bebidas fermentadas, inclusive para a produção de fermentados acéticos.

REFERÊNCIAS

- ADEKUNTE, O. Adefunke *et al.* Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 122, n. 3, p. 500-507, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.026>.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução de Diretoria Colegiada: RDC N° 397 de 25 de junho de 2020**: Autoriza o uso de aditivos alimentares em diversas categorias de alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de junho de 2020.
- AHMADI, Farhad *et al.* Microbial, Nutritional, and Antioxidant Stability of Fruit and Vegetables Discards Treated with Sodium Metabisulfite During Aerobic and Anaerobic Storage. **Waste And Biomass Valorization**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 347-357, 10 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-020-00968-9>.
- AHMED, Shakil *et al.* Physicochemical properties, bioactive compounds and total antioxidant activity of Blackberry (*Syzygium cumini* L.) juice retained by preservatives during storage. **Journal Of Food Measurement And Characterization**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 3660-3669, 12 maio 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-021-00933-7>.
- AI, Jian *et al.* Using untargeted metabolomics to profile the changes in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) anthocyanins during wine fermentation. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 364, p. 130425, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130425>.
- ALARA, Oluwaseun Ruth *et al.* Extraction of phenolic compounds: a review. **Current Research In Food Science**, [S.L.], v. 4, p. 200-214, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>.
- ALBARICI, Tatiane Regina *et al.* **Efeito das Variações de pH e Temperatura Sobre as Antocianinas na Polpa de Açaí - Estudos Espectrofotométricos e Cromatográficos**. São Carlos: Embrapa, 2006. 5 p.
- ALVES, Catarina Fernanda Carvalho. **Influência de diferentes aguardentes na produção de Vinho do Porto**. 2021. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade do Porto, Portugal, 2021.
- ANDRADE, Priscilla Tainá Alves da Silva *et al.* Efeito do tratamento térmico na concentração de compostos fenólicos totais e Antocianinas presentes na goiaba (*Psidium guajava*) / Effect of thermal treatment on the concentration of total phenolic compounds and Anthocianins present in guava (*Psidium guajava*). **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 45191-45201, 9 jun. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n6-172>.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15 th ed., v. 2. Arlington: A.O.A.C., 1990. p. 1058-1059 (method 967.21).
- BASTOS, Reginaldo Gaspar. **Tecnologia das fermentações: fundamentos de bioprocessos**. São Carlos: EdUFSCar, 2010. 162p.

BENZIE, Iris. F. F.; STRAIN, John. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of Antioxidant Power^{***}: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, v. 239, p. 70–76, 1996.

BESSA, Mizael Augusto Diógenes *et al.* Bebida alcoólica fermentada de melão (*Cucumis melo* L.): processamento e caracterização. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 21, p. 17-21, 14 nov. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.21717>.

BORDIGNON JUNIOR, Celso Luiz *et al.* Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 183-188, mar. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612009000100028>.

BOUAYED, Jaouad *et al.* Exogenous Antioxidants—Double-Edged Swords in Cellular Redox State: health beneficial effects at physiologic doses versus deleterious effects at high doses. **Oxidative Medicine And Cellular Longevity**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 228-237, 2010. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.4161/oxim.3.4.12858>.

BRACK, Paulo *et al.* Frutas nativas do Rio Grande do Sul, Brasil: riqueza e potencial alimentício. **Rodriguésia**, [S.L.], v. 71, p. 1-11, set. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202071091>.

BRAND-WILLIAMS, W. *et al.* Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5).

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2009.

BRASIL. **Resolução nº 4, de 24 de novembro de 1988**. Aprova a revisão das Tabelas I, III, IV e V referentes a aditivos intencionais, bem como os anexos I, II, III, e VII, todas do Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1995. Aditivos Intencionais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de novembro de 1988. Seção 1.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Consolidação das Normas de Bebidas, Fermentado Acético, Vinhos e Derivados da Uva e do Vinho**: anexo a norma interna DIPOV nº 01/2019 – Cartilhão/Coordenação Geral de Vinhos e Bebidas – Brasília: MAPA/AESC, 2022.

BRASIL. **Instrução normativa Nº 34, de 9 de novembro de 2012**. Complementa os padrões de identidade e qualidade para as bebidas fermentadas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Diário Oficial da União, DF, Brasília, 30 de novembro de 2012.

BRUGNEROTTO, Patricia *et al.* A capillary electrophoresis method to determine aliphatic organic acids in bracatinga honeydew honey and floral honey. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [S.L.], v. 82, p. 103243, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103243>

BURIN, Vívian Maria *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activity of *Vitis vinifera* and *Vitis labrusca* grapes: evaluation of different extraction methods. **Microchemical Journal**, [S.L.], v. 114, p. 155-163, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2013.12.014>.

CAI, Dongbao *et al.* A comprehensive review on innovative and advanced stabilization approaches of anthocyanin by modifying structure and controlling environmental factors. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 366, p. 130611, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130611>.

ČAKAR, Uroš *et al.* Fruit as a substrate for a wine: a case study of selected berry and drupe fruit wines. **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 244, p. 42-49, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.020>.

CARLOS, Luiz *et al.* Ethanol Production in Brazil: the industrial process and its impact on yeast fermentation. **Biofuel Production-Recent Developments And Prospects**, [S.L.], p. 1-19, 15 set. 2011. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/17047>.

CASSINO, Claudio *et al.* The effects of sulphur dioxide on wine metabolites: new insights from 1h nmr spectroscopy based in-situ screening, detection, identification and quantification. **Lwt**, [S.L.], v. 145, p. 111296, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111296>.

CAVALCANTI, Rodrigo N. *et al.* Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems—An overview. **Food Research International**, [S.L.], v. 44, n. 2, p. 499-509, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.007>.

CHAVES, Vitor C *et al.* Berries grown in Brazil: anthocyanin profiles and biological properties. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 98, n. 11, p. 4331-4338, 18 abr. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.8959>.

CHEMICALIZE. Disponível em: <https://chemicalize.com/app/drawing>. Acesso em: 19 set. 2022.

CHEN, Bing-Huei *et al.* Nanoemulsion and Nanoliposome Based Strategies for Improving Anthocyanin Stability and Bioavailability. **Nutrients**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1052, 10 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu11051052>

CHO, Jeong-Yong *et al.* Change in the content of phenolic compounds and antioxidant activity during manufacturing of black raspberry (*Rubus coreanus* Miq.) wine. **Food Science And Biotechnology**, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 1-8, 7 set. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-013-0207-5>.

DEMIRCI-ÇEKİÇ, Sema *et al.* Biomarkers of Oxidative Stress and Antioxidant Defense. **Journal Of Pharmaceutical And Biomedical Analysis**, [S.L.], v. 209, p. 114477, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpba.2021.114477>.

DENARDIN, Cristiane C. *et al.* Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. **Journal Of Food And Drug Analysis**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 387-398,

set. 2015. The Journal of Food and Drug Analysis (JFDA), Food and Drug Administration, Taiwan (TFDA). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfda.2015.01.006>.

DERGAL, Salvador Badui (org.). **Química de los Alimentos: pigmentos**. México: Pearson Educación, 2006. 734 p.

DIESLER, Kathrin *et al.* UV-C treatment of grape must: microbial inactivation, toxicological considerations and influence on chemical and sensory properties of white wine. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 52, p. 291-304, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.005>.

DIÓGENES, Bianca Cavalcante *et al.* Desempenho da *saccharomyces cerevisiae* ao estresse ácido no processo de fermentação alcoólica. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 1-8, 9 ago. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18716>.

DU, Qing *et al.* Effect of low temperature on the shaping of yeast-derived metabolite compositions during wine fermentation. **Food Research International**, [S.L.], v. 162, p. 112016, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112016>.

DZIALO, Maria C *et al.* Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. **Fems Microbiology Reviews**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 95-128, 1 ago. 2017. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/femsre/fux031>

ECHEVERRIGARAY, Sergio *et al.* A simple and reliable method for the quantitative evaluation of anthocyanin adsorption by wine yeasts. **Journal Of Microbiological Methods**, [S.L.], v. 157, p. 88-92, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2018.12.016>.

ENARU, Bianca *et al.* Anthocyanins: factors affecting their stability and degradation. **Antioxidants**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1967, 9 dez. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox10121967>.

ENGLEZOS, Vasileios *et al.* Microbial interactions in winemaking: ecological aspects and effect on wine quality. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 127, p. 99-113, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.015>.

ERKAN-KOÇ, Betül *et al.* Effects of various protein- and polysaccharide-based clarification agents on antioxidative compounds and colour of pomegranate juice. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 184, p. 37-45, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.064>.

FEITOSA, Bruno Fonsêca *et al.* Myrtle (*Eugenia gracillima* Kiaersk.) as a fermented alcoholic beverage alternative to wine: preliminary study. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 54, p. 102830, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102830>.

FENNEMA, Owen R.; DAMODARAN, Srinivasan; PARK, Kirk L. (org.). **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FERREIRA, Ana Letícia Andrade *et al.* Low-alcohol wine made from uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess): influence of ultrasound-assisted enzymatic pre-treatment on its bioactive properties. **Microchemical Journal**, [S.L.], v. 198, p. 110177, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2024.110177>

FERREIRA, Ana Mendes *et al.* The Role of Yeasts and Lactic Acid Bacteria on the Metabolism of Organic Acids during Winemaking. **Foods**, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 1231, 3 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9091231>.

FRAZON, Rodrigo Cezar *et al.* **Araçás do Genero *Psidium*: principais espécies, ocorrências, descrição e usos**. Planaltina, Df: Embrapa, 2009. 47 p.

FREITAS, Victor *et al.* O mundo colorido das antocianinas. **Revista de Ciência Elementar**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 1-6, 30 jun. 2019. ICETA. <http://dx.doi.org/10.24927/rce2019.017>.

GABRIELE, Morena *et al.* Effects of low sulfur dioxide concentrations on bioactive compounds and antioxidant properties of Aglianico red wine. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 245, p. 1105-1112, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.060>.

GAO, Shiwei *et al.* Characterization of anthocyanin and nonanthocyanidin phenolic compounds and/or their biosynthesis pathway in red-fleshed ‘Kanghong’ grape berries and their wine. **Food Research International**, [S.L.], v. 161, p. 111789, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111789>.

GÉRARD, Violaine *et al.* Thermal and Photochemical Stability of Anthocyanins from Black Carrot, Grape Juice, and Purple Sweet Potato in Model Beverages in the Presence of Ascorbic Acid. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 67, n. 19, p. 5647-5660, 26 abr. 2019. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01672>.

GIUSTI, M.Mónica; WROLSTAD, Ronald E.. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. **Current Protocols In Food Analytical Chemistry**, [S.L.], v. 00, n. 1, p. 1-13, abr. 2001. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.

GLORIES, Y. La couleur des vins rouges. 2ème partie mesure, origine et interpretation. **Connaissance de la Vigne et du Vin**, v. 18, p. 253-271, 1984.

GRANATO, Daniel *et al.* Enzyme-assisted extraction of anthocyanins and other phenolic compounds from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) press cake: from processing to bioactivities. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 391, p. 133240, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133240>.

GUERRERO, Raúl F. *et al.* Demonstrating the efficiency of sulphur dioxide replacements in wine: a parameter review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 27-43, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.11.004>.

GUIDINI, Carla Zanella. **Fermentação Alcoólica em Batelada Alimentada Empregando *Saccharomyces cerevisiae* de Características Floculantes**. 2013. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

GULCIN, İlhami *et al.* Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. **Archives Of Toxicology**, [S.L.], v. 94, n. 3, p. 651-715, mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>.

GUPTA, U.C. *et al.* Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Health and Nutrition: a review. **Pedosphere**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 13-38, fev. 2014. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(13\)60077-6](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(13)60077-6).

GWOZDZ, Eloir Pereira *et al.* Influence of the addition of dehydrated red araçá on the physicochemical and sensory characteristics of Greek-style yogurt. **Biocatalysis And Agricultural Biotechnology**, [S.L.], v. 53, p. 102879, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102879>

HAMINIUK, C.W.I. *et al.* Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum* Sabine). **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 427-431, maio 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2005.02.011>.

HORNEDO-ORTEGA, Ruth *et al.* Effects of gluconic and alcoholic fermentation on anthocyanin composition and antioxidant activity of beverages made from strawberry. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 69, p. 382-389, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.070>

HORNEDO-ORTEGA, Ruth *et al.* Influence of Fermentation Process on the Anthocyanin Composition of Wine and Vinegar Elaborated from Strawberry. **Journal Of Food Science**, [S.L.], v. 82, n. 2, p. 364-372, 10 jan. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.13624>.

HOSSAIN, Mohammed Kawser *et al.* Molecular Mechanisms of the Anti-Obesity and Anti-Diabetic Properties of Flavonoids. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 569, 15 abr. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms17040569>

HUANG, Jiaming *et al.* A study on the factors influencing the preservation rate of ascorbic acid in acerola cherry pulp. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 42, p. 1-7, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.16322>.

HUANG, Jintao *et al.* Evaluation of the quality of fermented kiwi wines made from different kiwifruit cultivars. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 42, p. 101051, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101051>.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 4. ed., Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, 2008. 1020 p.

ISEPPI, Alberto de *et al.* Red and white wine lees as a novel source of emulsifiers and foaming agents. **Lwt**, [S.L.], v. 152, p. 112273, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112273>

JIANG, Xiaohui *et al.* Effects of Different Yeasts on Physicochemical and Oenological Properties of Red Dragon Fruit Wine Fermented with *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspota*

delbrueckii and *Lachancea thermotolerans*. **Microorganisms**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 315, 25 fev. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8030315>.

JIANG, Xiaohui *et al.* Effects of pectinase treatment on the physicochemical and oenological properties of red dragon fruit wine fermented with *Torulaspora delbrueckii*. **Lwt**, [S.L.], v. 132, p. 109929, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109929>.

KELANNE, Niina M. *et al.* Comparison of volatile compounds and sensory profiles of alcoholic black currant (*Ribes nigrum*) beverages produced with *Saccharomyces*, *Torulaspora*, and *Metschnikowia* yeasts. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 370, p. 131049, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131049>.

KINUPP, Valdely Ferreira *et al.* Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 846-857, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612008000400013>.

KOIVISTOINEN, Outi M *et al.* Glycolic acid production in the engineered yeasts *Saccharomyces cerevisiae* and *Kluyveromyces lactis*. **Microbial Cell Factories**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 82, 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/1475-2859-12-82>.

KOKKINOMAGOULOS, Evangelos *et al.* Evaluation of Yeast Strains for Pomegranate Alcoholic Beverage Production: effect on physicochemical characteristics, antioxidant activity, and aroma compounds. **Microorganisms**, [S.L.], v. 8, n. 10, p. 1583, 14 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8101583>.

KUMSA, Negasa Andersa *et al.* Review on the Effect of Fruit Wine Quality and Fermentation Conditions on the Quality of Wine. **Food Science & Nutrition Technology**, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 1-9, 30 set. 2020. Medwin Publishers. <http://dx.doi.org/10.23880/fsnt-16000226>.

LI, Xusheng *et al.* The impact of ultrasonic treatment on blueberry wine anthocyanin color and its In-vitro anti-oxidant capacity. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 333, p. 127455, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127455>.

LIGUORI, Loredana *et al.* Production of Low-Alcohol Beverages: current status and perspectives. **Food Processing For Increased Quality And Consumption**, [S.L.], p. 347-382, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-811447-6.00012-6>.

LIMA, Andréia Saldanha de *et al.* Action mechanism of araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) hydroalcoholic extract against *Staphylococcus aureus*. **Lwt**, [S.L.], v. 119, p. 108884, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108884>.

LIMA, Raissa *et al.* Chemical Profile and Hematoprotective Activity of Artisanal Jabuticaba (*Plinia jabuticaba*) Wine and Derived Extracts. **Fermentation**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 157, 6 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/fermentation9020157>.

LISBÔA, Gustavo N.; KINUPP, Valdely F.; BARROS, Ingrid B. I. de. **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: *Psidium cattleianum* araçá**. 2. ed. Brasília, Df: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 936 p.

LIU, Rui Hai *et al.* Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. **Advances In Nutrition**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 384-392, 1 maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3945/an.112.003517>.

LIU, Siyuan *et al.* Effects of high power pulsed microwave on the enhanced color and flavor of aged blueberry wine. **Food Science And Biotechnology**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 33-45, 12 maio 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-023-01325-x>.

LIU, Suwen *et al.* Changes in anthocyanin profile, color, and antioxidant capacity of hawthorn wine (*Crataegus pinnatifida*) during storage by pretreatments. **Lwt**, [S.L.], v. 95, p. 179-186, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.093>

LIU, Wenli *et al.* Effect of *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii* and malolactic fermentation on fermentation kinetics and sensory property of black raspberry wines. **Food Microbiology**, [S.L.], v. 91, p. 103551, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2020.103551>.

LIU, Xingyan *et al.* Effect of Initial PH on Growth Characteristics and Fermentation Properties of *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal Of Food Science**, [S.L.], v. 80, n. 4, p. 800-808, 16 mar. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.12813>.

LOPES, Ana Cláudia Alencar. *et al.* New alcoholic fermented beverages-potentials and challenges. In: **Fermented Beverages: Volume 5. The Science of Beverages**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 577–603.

LU, Yao *et al.* Changes in the physicochemical components, polyphenol profile, and flavor of persimmon wine during spontaneous and inoculated fermentation. **Food Science & Nutrition**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 2728-2738, 14 abr. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.1560>.

LUXIMON-RAMMA, Amitabha *et al.* Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common Mauritian exotic fruits. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 83, n. 5, p. 496-502, 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.1365>.

MACEDO, Ellis Helena B.C. *et al.* Unveiling the physicochemical properties and chemical profile of artisanal jabuticaba wines by bromatological and NMR-based metabolomics approaches. **Lwt**, [S.L.], v. 146, p. 111371, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111371>.

MACHADO, Patrícia Gotardo *et al.* Exploring Anthocyanin and Free and Bound Phenolic Compounds from Two Morphotypes of Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) by LC-ESI-QqQ-MS/MS. **Foods**, [S.L.], v. 12, n. 17, p. 3230, 28 ago. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12173230>.

MAEDA, Roberto Nobuyuki; ANDRADE, Jerusa Souza. Aproveitamento do camu-camu (*Myrciaria dubia*) para produção de bebida alcoólica fermentada. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 489-498, 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672003000300014>.

MALACRIDA, Cassia Roberta *et al.* ANTOCIANINAS EM SUCO DE UVA: composição e estabilidade. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 1-24, 30 jun. 2006. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v24i1.5294>.

MALLMANN, Luana P. *et al.* Comprehensive identification and quantification of unexploited phenolic compounds from red and yellow araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) by LC-DAD-ESI-MS/MS. **Food Research International**, [S.L.], v. 131, p. 108978, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108978>.

MANDUJANO, Gustavo P. Lorca *et al.* Identification and selection of a new *Saccharomyces cerevisiae* strain isolated from Brazilian ethanol fermentation process for application in beer production. **Food Microbiology**, [S.L.], v. 103, p. 103958, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2021.103958>.

MăRGĂOAN, Rodica *et al.* Impact of Fermentation Processes on the Bioactive Profile and Health-Promoting Properties of Bee Bread, Mead and Honey Vinegar. **Processes**, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 1081, 1 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr8091081>.

MARKOVIĆ, Ana Karković *et al.* Hydroxytyrosol, Tyrosol and Derivatives and Their Potential Effects on Human Health. **Molecules**, [S.L.], v. 24, n. 10, p. 2001, 24 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24102001>.

MARTEMUCCI, Giovanni *et al.* Free Radical Properties, Source and Targets, Antioxidant Consumption and Health. **Oxygen**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 48-78, 12 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/oxygen2020006>

MARTÍN-GÓMEZ, Juan *et al.* Phenolic compounds, antioxidant activity and color in the fermentation of mixed blueberry and grape juice with different yeasts. **LWT**, [S.L.], v. 146, p. 111661, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111661>.

MCCOOK-RUSSELL, Kayanne P. *et al.* Nutritional and nutraceutical comparison of Jamaican *Psidium cattleianum* (strawberry guava) and *Psidium guajava* (common guava) fruits. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 134, n. 2, p. 1069-1073, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.018>.

MEDINA, Aline Lisboa *et al.* Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) fruit extracts with antioxidant and antimicrobial activities and antiproliferative effect on human cancer cells. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 128, n. 4, p. 916-922, out. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.119>.

MELO, Denise Wibelinger de. **Propriedades físico-químicas e características histoquímicas do araçá vermelho (*Psidium catteyanum* Sabine)**. 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

MELO, Denise Wibelinger *et al.* Caracterização do araçá vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine) liofilizado em pó. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 29868-29875, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-442>.

MENA, Pedro *et al.* Pomegranate varietal wines: phytochemical composition and quality parameters. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 133, n. 1, p. 108-115, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.079>.

MEREGALLI, Monalise Marcante *et al.* Conventional and ultrasound-assisted methods for extraction of bioactive compounds from red araçá peel (*Psidium cattleianum* Sabine). **Arabian Journal Of Chemistry**, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 5800-5809, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.04.017>.

MINNAAR, Phillip *et al.* Effect of alcoholic and acetous fermentations on the phenolic acids of Kei-apple (*Dovyalis caffra* L.) fruit. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 101, n. 10, p. 4315-4320, 20 jan. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.11071>

NIMAL, Rafia *et al.* Trends in electrochemical nanosensors for the analysis of antioxidants. **Trac Trends In Analytical Chemistry**, [S.L.], v. 153, p. 116626, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2022.116626>.

NORA, Cleice dalla *et al.* The characterisation and profile of the bioactive compounds in red guava (*Psidium cattleianum* Sabine) and guabiju (*Myrcianthes pungens*(O. Berg) D. Legrand). **International Journal Of Food Science & Technology**, [S.L.], v. 49, n. 8, p. 1842-1849, 17 fev. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.12493>.

OIV. International Organisation of Vine and Wine. (2012). **Compendium of international methods of wine and must analysis**. Edition 2012. OIV 18, Rue d'Aguesseau - 75008, Paris.

OLIVEIRA, Joana *et al.* Previous and recent advances in pyranoanthocyanins equilibria in aqueous solution. **Dyes And Pigments**, [S.L.], v. 100, p. 190-200, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.09.009>.

OSETE-ALCARAZ, Andrea *et al.* Revisiting the use of pectinases in enology: a role beyond facilitating phenolic grape extraction. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 372, p. 131282, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131282>.

PAGLIARINI, Mateus Alcides *et al.* Hydroalcoholic extracts of *Psidium cattleianum* Afzel. ex Sabine for liqueur production: influence of different fruit harvesting points on phytochemical, volatile, and sensory profiles, antioxidant activity and physical characteristics. **European Food Research And Technology**, [S.L.], v. 249, n. 9, p. 2321-2334, 12 jun. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-023-04296-9>.

PATHARE, Pankaj B. *et al.* Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: a review. **Food And Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 36-60, 11 maio 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>.

PEDROSA-MACEDO, José Henrique; MOLIN, Anamaria dal; SMITH, Clifford W. **O araçazeiro: ecologia e controle biológico**. Curitiba: Fupef do Paraná, 2007. 232 p.

PEREIRA, Adejanildo da Silva *et al.* PRODUÇÃO DE FERMENTADO ALCOÓLICO MISTO DE POLPA DE AÇAÍ E CUPUAÇU: aspectos cinéticos, físico-químicos e sensoriais. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-11, 6 jan. 2014. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/s1981-36862014000100007>.

PEREIRA, Elisa dos Santos *et al.* Compostos bioativos e potencial antioxidante de genótipos de araçá avaliados em dois ciclos produtivos. **14ª Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa**, Pelotas, v. 14, n. 14, p. 1-11, 27 set. 2017.

PEREIRA, Elisa dos Santos *et al.* *Psidium cattleianum* fruits: a review on its composition and bioactivity. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 258, p. 95-103, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.024>.

PEREIRA, Renata Junqueira *et al.* Vegetable secondary metabolites and antioxidants benefits. **Journal Of Biotechnology And Biodiversity**, Tocantins, v. 3, n. 4, p. 146-152, nov. 2012.

PÉREZ-BIBBINS, B. *et al.* Potential of lees from wine, beer and cider manufacturing as a source of economic nutrients: an overview. **Waste Management**, [S.L.], v. 40, p. 72-81, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.009>.

PISOSCHI, Aurelia Magdalena *et al.* The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a review. **European Journal Of Medicinal Chemistry**, [S.L.], v. 97, p. 55-74, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>.

PIOTKA-WASYLKA, Justyna *et al.* Characterization of home-made and regional fruit wines by evaluation of correlation between selected chemical parameters. **Microchemical Journal**, [S.L.], v. 140, p. 66-73, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2018.04.010>.

RE, Roberta *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology And Medicine**, [S.L.], v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, maio 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

RÊGO, Ester Seixas Bullé *et al.* Cashew wine and volatile compounds produced during fermentation by non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces* yeast. **Lwt**, [S.L.], v. 126, p. 109291, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109291>.

REMINI, Hocine *et al.* RECENT ADVANCES ON STABILITY OF ANTHOCYANINS. **Rudn Journal Of Agronomy And Animal Industries**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 257-286, 2018. Peoples' Friendship University of Russia. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-797x-2018-13-4-257-286>.

REVILLA, Isabel *et al.* Identification of anthocyanin derivatives in grape skin extracts and red wines by liquid chromatography with diode array and mass spectrometric detection. **Journal Of Chromatography A**, [S.L.], v. 847, n. 1-2, p. 83-90, jun. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0021-9673\(99\)00256-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0021-9673(99)00256-3).

RIBEIRO, Alessandra Braga *et al.* *Psidium cattleianum* fruit extracts are efficient in vitro scavengers of physiologically relevant reactive oxygen and nitrogen species. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 165, p. 140-148, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.079>.

RIBÉREAU-GAYON; GLORIES, Y.; MAUJEAN, A.; DUBOURDIEU, D.. **Handbook of Enology: the chemistry of wine stabilization and treatments**. 2. ed. England: John Wiley & Sons Ltd, 2006. 2 v.

RIZELIO, Viviane Maria. *et al.* Development of a fast capillary electrophoresis method for determination of carbohydrates in honey samples. *Talanta*, v. 93, p. 62-66, 2012.

RIZZON, Luiz Antenor. **Metodologia para análise de vinho**. Brasília, Df: Embrapa, 2010. 126 p.

RIZZON, Luiz Antenor; DALL'AGNOL, Irineo. **Vinho Tinto**. Brasília, Df: Embrapa, 2007. 50 p.

ROCKETT, Fernanda Camboim *et al.* Native fruits from southern Brazil: physico :chemical characterization, centesimal composition, and mineral content. **Journal Of Food Processing And Preservation**, [S.L.], v. 44, n. 8, p. 1-11, 28 maio 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14582>

RODRÍGUEZ-AGUILAR, Fernanda et al. 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**, [S.L.], v. 440, p. 138181, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138181>

ROLEIRA, Fernanda M.F. *et al.* Phenolic Derivatives From Medicinal Herbs and Plant Extracts: anticancer effects and synthetic approaches to modulate biological activity. **Studies In Natural Products Chemistry**, [S.L.], p. 115-156, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-64057-4.00004-1>.

ROLLER, Stéphanie *et al.* Combined effects of nutrients and temperature on the production of fermentative aromas by *Saccharomyces cerevisiae* during wine fermentation. **Applied Microbiology And Biotechnology**, [S.L.], v. 99, n. 5, p. 2291-2304, 21 nov. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-014-6210-9>.

ROSÁRIO, Fernanda Menegon *et al.* Red araçá pulp microencapsulation by hydrolyzed pinhão starch, and tara and arabic gums. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 101, n. 5, p. 2052-2062, 5 out. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10825>.

RUFINO, Maria do Socorro M. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 121, n. 4, p. 996-1002, ago. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>

RUPASINGHE, H.P. Vasantha *et al.* The potential health benefits of haskap (*Lonicera caerulea* L.): role of cyanidin-3- o -glucoside. **Journal Of Functional Foods**, [S.L.], v. 44, p. 24-39, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.023>.

SANTOS, Renata Torres *et al.* Physicochemical characterization, bioactive compounds, in vitro antioxidant activity, sensory profile and consumer acceptability of fermented alcoholic beverage obtained from Caatinga passion fruit (*Passiflora cincinnata* Mast.). **Lwt**, [S.L.], v. 148, p. 111714, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111714>.

SEGTOEWICK, Edilene Cléa dos Santos *et al.* Avaliação físico-química e sensorial de fermentado de acerola. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 147-154, 14 jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1981-67232013005000015>.

SHARMA, Meenakshi *et al.* Vegetable phytochemicals: an update on extraction and analysis techniques. **Biocatalysis And Agricultural Biotechnology**, [S.L.], v. 36, p. 102149, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102149>.

SILVA, Jonas Luiz Almada da *et al.* FERMENTADO ALCOÓLICO DE UMBU: produção, cinética de fermentação e caracterização físico-química. **Holos**, [S.L.], v. 2, p. 108-121, 29 ago. 2017. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.4506>.

SILVA, Isabela M. *et al.* ANTOCIANINAS: estrutura química, estabilidade e extração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: Pesquisas e Avanços**, [S.L.], p. 248-259, 2021. Agron Food Academy. <http://dx.doi.org/10.53934/9786599539626.29>.

SILVA, Mara Reis *et al.* Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 38, n. 6, p. 1790-1793, set. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782008000600051>.

SILVA, Nathalia Azevedo da *et al.* Phenolic Compounds and Carotenoids from Four Fruits Native from the Brazilian Atlantic Forest. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 62, n. 22, p. 5072-5084, 21 maio 2014. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf501211p>.

SILVA, Paulo Henrique Alves da *et al.* Avaliação da composição química de fermentados alcoólicos de jabuticaba (*myrciaria jabuticaba*). **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 595-600, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000300025>.

SILVEIRA, Márcia Liliâne Rippel *et al.* Fermentado de fruta: revisão. **Produção Animal e Vegetal: Inovações e Atualidades**, [S.L.], p. 972-979, dez. 2021. Agron Food Academy. <http://dx.doi.org/10.53934/9786599539633-109>.

SIMÃO, Larissa *et al.* How Do Different Ingredients and Additives Affect the Production Steps and the Bioactive Potential of Mead? **Food Technology And Biotechnology**, [S.L.], v. 61, n. 2, p. 179-190, 25 mar. 2023. <http://dx.doi.org/10.17113/ftb.61.02.23.7622>.

SINGLETON, Vernon. L.; ROSSI, Joseph. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 50, p. 144–158, 1965.

SOUZA, Alexandra Goede de *et al.* Caracterização físico-química de frutos nativos da região Sul do Brasil. **Evidência - Ciência e Biotecnologia**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 81-94, 28 jun. 2018. Universidade do Oeste de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.18593/eba.v18i1.16546>.

SUN, Xiyun *et al.* Improving effects of three selected co-pigments on fermentation, color stability, and anthocyanins content of blueberry wine. **Lwt**, [S.L.], v. 156, p. 113070, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113070>.

TAN, Jiaqi *et al.* Extraction and purification of anthocyanins: a review. **Journal Of Agriculture And Food Research**, [S.L.], v. 8, p. 100306, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100306>

TELES, Aline Soares Cascaes. **PRODUÇÃO DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS E OBTENÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM COMPOSTOS FENÓLICOS A PARTIR DO BAGAÇO DE UVA UTILIZANDO PROCESSOS “VERDES”**. 2019. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

TERZIĆ, Milena *et al.* Elderberry (*Sambucus nigra* L.) wine as a novel potential functional food product. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 50, p. 102047, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102047>.

UENOJO, Mariana *et al.* Pectinases: aplicações industriais e perspectivas. **Química Nova**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 388-394, abr. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000200028>.

UZHEL, S. Anna *et al.* Determination of full organic acid profiles in fruit juices and alcoholic beverages using novel chemically derivatized hyperbranched anion exchanger. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [S.L.], v. 95, p. 103674, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103674>.

VARO, M. Angeles *et al.* Effect of potassium metabisulphite and potassium bicarbonate on color, phenolic compounds, vitamin C and antioxidant activity of blueberry wine. **Lwt**, [S.L.], v. 163, p. 113585, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113585>.

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni (org.). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia: fermentados de frutas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 576 p.

VENUGOPAL, K.s. *et al.* Seed incorporation during vinification and its impact on chemical and organoleptic properties in *Syzygium cumini* wine. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 237, p. 693-700, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.160>.

VINHOLES, Juliana *et al.* In vitro assessment of the antihyperglycemic and antioxidant properties of araçá, butiá and pitanga. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 19, p. 92-100, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.005>.

WANG, Lihua *et al.* Dynamic changes in phenolic compounds, colour and antioxidant activity of mulberry wine during alcoholic fermentation. **Journal Of Functional Foods**, [S.L.], v. 18, p. 254-265, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.07.013>.

- WANG, Songen *et al.* Interaction between black mulberry pectin-rich fractions and cyanidin-3-O-glucoside under in vitro digestion. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 134, p. 108110, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108110>.
- WU, Zhiqian *et al.* Color Stability Enhancement and Antioxidation Improvement of Sanhua Plum Wine under Circulating Ultrasound. **Foods**, [S.L.], v. 11, n. 16, p. 2435, 13 ago. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11162435>.
- XIAO, Jianbo *et al.* Advance on the FlavonoidC-glycosides and Health Benefits. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, [S.L.], v. 56, n. 1, p. 29-45, 13 out. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2015.1067595>.
- XU, Yu *et al.* Gallic Acid and Diabetes Mellitus: its association with oxidative stress. **Molecules**, [S.L.], v. 26, n. 23, p. 7115, 24 nov. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26237115>.
- YANG, Wei *et al.* Chemical composition, sensory profile and antioxidant capacity of low-alcohol strawberry beverages fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspora delbrueckii*. **Lwt**, [S.L.], v. 149, p. 111910, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111910>.
- YANG, Wenjuan *et al.* Structure and function of blueberry anthocyanins: a review of recent advances. **Journal Of Functional Foods**, [S.L.], v. 88, p. 104864, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2021.104864>.
- YE, Mengqi *et al.* Evolution of polyphenols and organic acids during the fermentation of apple cider. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 94, n. 14, p. 2951-2957, 3 abr. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6639>.
- ZANDONÁ, Giovana Paula *et al.* Extraction and characterization of phytochemical compounds from araçazeiro (*Psidium cattleianum*) leaf: putative antioxidant and antimicrobial properties. **Food Research International**, [S.L.], v. 137, p. 109573, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109573>.
- ZHANG, Zhengwei *et al.* Degradation of cyanidin-3-O-glucoside induced by antioxidant compounds in model Chinese bayberry wine: kinetic studies and mechanisms. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 373, p. 131426, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131426>
- ZHAO, Peipei *et al.* Flavor Profile Evaluation of Soaked Greengage Wine with Different Base Liquor Treatments Using Principal Component Analysis and Heatmap Analysis. **Foods**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 2016, 16 maio 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12102016>.
- ZURIARRAIN-OCIO, Andoni *et al.* Evolution of main polyphenolics during cidermaking. **Lwt**, [S.L.], v. 167, p. 113798, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113798>